



TUGAS AKHIR TF141581

# **ANALISA KEBISINGAN LINGKUNGAN AKIBAT KERETA API PADA PEMUKIMAN YANG DILEWATI JALUR *DOUBLE TRACK***

**FRESI YULIANA PUTRI TIAS AJI  
NRP 2414.106.010**

**Dosen Pembimbing :  
Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc  
Ir. Tutug Dhanardono, M.T**

**Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017**





***FINAL PROJECT TF141581***

***RAILWAY NOISE ANALYSIS IN RESIDENTIAL  
AREA THAT IS PASSED BY DOUBLE TRACK  
RAILWAY***

***FRESI YULIANA PUTRI TIAS AJI  
NRP 2414.106.010***

***Advisor Lecturer :  
Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc  
Ir. Tutug Dhanardono, M.T***

***Department of Engineering Physics  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2017***



## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI


Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Fresi Yuliana Putri Tias Aji  
NRP : 2414106010  
Departemen : Teknik Fisika FTI – ITS

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul **“ANALISA KEBISINGAN LINGKUNGAN AKIBAT KERETA API PADA PEMUKIMAN YANG DILEWATI JALUR *DOUBLE TRACK*”** adalah bebas dari plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, Juli 2017



Fresi Yuliana Putri Tias Aji

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**LEMBAR PENGESAHAN**

**TUGAS AKHIR**

**“ANALISA KEBISINGAN LINGKUNGAN AKIBAT  
KERETA API PADA PEMUKIMAN YANG DILEWATI  
JALUR *DOUBLE TRACK*”**

**OLEH:  
FRESI YULIANA PUTRI TIAS AJI  
NRP. 2414.106.010**

**Surabaya, Juli 2017**

**Mengetahui,**

Dosen Pembimbing 1



**Ir. Wiratno Argo Asmoro, MSc**  
**NIP. 19600229 198701 1 001**

Dosen Pembimbing 2



**Ir. Tutug Dhanardono, MT**  
**NIP. 19520613 198103 1 004**

**Menyetujui,  
Kepala Departemen  
Teknik Fisika FTI-ITS**



**Agus Muhammad Hatta, ST, Msi, Ph.D**  
**NIP. 19780902 200312 1 002**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**LEMBAR PENGESAHAN**

**TUGAS AKHIR**

**“ANALISA KEBISINGAN LINGKUNGAN AKIBAT  
KERETA API PADA PEMUKIMAN YANG DILEWATI  
JALUR *DOUBLE TRACK*”**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Rekayasa Akustik dan Fisika Bahan  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Oleh :  
**FRESI YULIANA PUTRI TIAS AJI**  
**NRP. 2414.106.010**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc.....(Dosen Pembimbing I)
2. Ir. Tutug Dhanardono, M.T.....(Dosen Pembimbing II)
3. Ir. Herri Joestiono, M.T.....(Ketua Penguji)
4. Ir. Jerri Susatio, M.T.....(Penguji I)
5. Ir. Matradji, M.Sc.....(Penguji II)

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **”ANALISA KEBISINGAN LINGKUNGAN AKIBAT KERETA API PADA PEMUKIMAN YANG DILEWATI JALUR *DOUBLE TRACK*”**

**Nama Mahasiswa** : Fresi Yuliana Putri Tias Aji  
**NRP** : 2414 106 010  
**Program Studi** : S-1 Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : I. Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc  
II. Ir. Tutug Dhanardono, M.T

## **Abstrak**

Proyek pemerintah untuk menambah rel kereta api jalur ganda (*double track*) menyebabkan peningkatan volume kereta api dan kebisingan di pemukiman sekitarnya. Pada tugas akhir ini dilakukan analisa Tingkat Kebisingan Siang Malam ( $L_{SM}$ ) pada pemukiman yang dilewati rel kereta api jalur ganda dengan cara pengukuran dan simulasi. Metoda pengukuran dan analisa berdasar pada SK Menteri Lingkungan Hidup No. Kep48/MENLH/11/1996, tentang Baku Tingkat Kebisingan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa  $L_{SM}$  pada pemukiman yang berjarak 15 m dari jalur rel adalah sebesar 69 dBA. Sedangkan pada jarak 11 m dari rel adalah sebesar 70-72 dBA. Nilai ini melampaui baku tingkat kebisingan, yaitu 55 dBA dengan toleransi 3 dBA. Dari hasil simulasi,  $L_{SM}$  di pemukiman akan turun menjadi 58 dBA pada jarak 180 m tanpa diberi penghalang (*barrier*). Pemasangan penghalang (*barrier*) pada jarak 1.5 m dari rel, setinggi 4 m dengan material “*cinder concrete*” dapat mereduksi Tingkat Kebisingan menjadi 58 dBA.

**Kata kunci** : Rel Kereta Api Jalur Ganda, Tingkat Kebisingan Siang Malam ( $L_{SM}$ ).

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**"RAILWAY NOISE ANALYSIS  
IN RESIDENTIAL AREA THAT IS PASSED BY  
DOUBLE TRACK RAILWAY"**

**Name of Student** : *Fresi Yuliana Putri Tias Aji*  
**NRP** : *2414 106 010*  
**Department** : *Bachelor of Engineering Physics*  
**Advisor Lecturer** : *I. Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc*  
*II. Tutug Dhanardono, M.T*

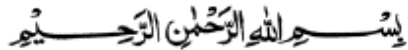
***Abstract***

*Government projects to add double track railway tracks lead to an increase in rail volumes and noise in surrounding residential area. In this final project, Day Night Noise Level ( $L_{SM}$ ) is analyzed on residential area through double track railway by measurement and simulation. Measurement and analysis methods are based on Ministry of Environment Decree No. Kep48/MENLH/11/1996, on Noise Level Standards. The measurement results indicate that the  $L_{SM}$  in residential area which are located within 15 m from the rail line is as big as 69 dBA. While at distance of 11 m from the rail is 70-72 dBA. This value exceeds the standard noise level, which is 55 dBA with a tolerance of 3 dBA. From the simulation results,  $L_{SM}$  in the residential area will drop to 58 dBA at a distance of 180 m without a barrier. Installation of barrier at a distance of 1.5 m from rail, 4 m high with "cinder concrete" material can reduce Noise Level to 58 dBA.*

***Keywords :*** *Double Track Railway, Day Night Noise Level.*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR



*Alhamdulillah.* Segala macam bentuk puji-pujian hanya Allah Ta'ala yang layak menyandanginya, karena segala macam bentuk kenikmatan hanya datang dari-Nya. Sholawat dan salam semoga dicurahkan kepada Nabi Muhammad Saw., keluarga beliau, para sahabat, dan semua orang yang mengikuti mereka dengan baik hingga hari akhir.

Tiada daya dan upaya melainkan kekuatan dari Allah SWT sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul:

### **“ANALISA KEBISINGAN AKIBAT KERETA API PADA PEMUKIMAN YANG DILEWATI JALUR *DOUBLE TRACK*”**

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam pengerjaan tugas akhir ini penulis mendapatkan banyak sekali bantuan dari berbagai pihak sehingga pada kesempatan ini penulis ingin berterimakasih kepada:

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, ST, Msi, Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Fisika, FTI-ITS.
2. Bapak Ir. Wiratno Argo Asmoro, MSc, selaku Pembimbing 1 tugas akhir dan Kepala Labratorium Akustik dan Fisika Bangunan yang senantiasa selalu siap sedia dalam memberikan bimbingannya selama pengerjaan tugas akhir.
3. Bapak Ir. Tutug Dhanardono, MT, selaku Pembimbing 2 tugas akhir dan Pembimbing Akademik yang selalu memberikan motivasi, perhatian, dan bimbingannya yang baik selama pengerjaan tugas akhir maupun sebelumnya.
4. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah banyak memberikan ilmunya sehingga penulis dapat menyelesaikan jenjang kuliah ini.

5. Orang Tua dan keluarga penulis yang tercinta, Ayah, Ibu, Dek Diana, Mbah. Terima kasih atas segala dukungan dan kepercayaan baik moril, spiritual dan material. Semoga selalu dilimpahkan rahmat dan hidayahNya.
6. Teman-teman yang selalu ada, dan setia, menemani disaat sedang galau cinTA.
7. Teman-teman Laboratorium Rekayasa Akustik dan Fisika Bahan atas bantuannya selama pengerjaan tugas akhir.
8. Teman-teman Lintas Jalur Teknik Fisika 2014 Genap, dan Adik-adik Lintas Jalur 2015. Utamanya teman-teman LJ Plus-Plus ♥.
9. Serta semua pihak yang turut membantu terselesaikannya Tugas Akhir ini, terima kasih banyak semoga Allah membalas dengan kebaikan yang berlipat-lipat.

Laporan Tugas Akhir ini akan lebih lengkap jika diberi masukan dan kritikan yang membina. Oleh karena itu harapan penulis, para pembaca yang budiman dapat menyempurnakan Tugas Akhir ini dengan sumbangan pemikiran yang bermanfaat. Dan atas partisipasi dan sumbangsihnya penulis dahului dengan ucapan ribuan terimakasih dan *jazahuallah khairan kathiran*.

Surabaya, Juli 2017

Penulis



## DAFTAR ISI

Halaman Judul .....	i
Lembar Plagiasi .....	v
Lembar Pengesahan .....	vii
Abstrak .....	xi
Abstract .....	xiii
Kata Pengantar .....	xv
Daftar Isi .....	xvii
Daftar Gambar .....	xxi
Daftar Tabel .....	xxiii
Daftar Notasi .....	xxv
 BAB I Pendahuluan .....	 1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Permasalahan .....	2
1.3    Batasan Masalah .....	2
1.4    Tujuan Penelitian .....	3
1.5    Manfaat Penelitian .....	3
1.6    Sistematika Laporan .....	3
 BAB II Tinjauan Pustaka .....	 5
2.1    Kebisingan .....	5
2.2    Tanggapan Bising .....	5
2.3    Skala Desibel .....	6
2.4    Sumber Bising Kereta Api .....	9
2.5    Penilaian Kebisingan .....	10

2.6	$L_{\max}$ (Tingkat Kebisingan Maksimum).....	10
2.7	$L_{SM}$ .....	10
2.8	Standar Baku Tingkat Kebisingan .....	11
2.9	Jaringan Kereta Api Pulau Jawa .....	12
2.10	Peraturan Pemerintah Tentang Jalur Kereta Api.....	14
2.11	Lokasi Penelitian.....	16
2.12	Mitigasi .....	17
2.13	Penghalang Bising (Noise Barrier) .....	18
2.14	Transmission Loss.....	19
2.15	Insertion Loss Barrier.....	21
BAB III Metodologi .....		23
3.1	Diagram Alir Penelitian .....	23
3.2	Studi Literatur dan Identifikasi Masalah.....	24
3.3	Survei dan Pemilihan Titik Pengukuran .....	24
3.4	Pengumpulan dan Pengambilan Data Kebisingan .. .....	26
3.5	Pengolahan Data Kebisingan .....	27
3.6	Tahap Mitigasi .....	29
BAB IV Hasil dan Pembahasan.....		35
4.1	Analisis Data .....	35
4.1.1	Pengukuran dan Perhitungan Tingkat Kebisingan Kereta Api .....	36
4.1.2	Pengukuran Kebisingan Lingkungan.....	37
4.1.3	Penghalang Bising (Noise Barrier).....	42
4.1.3.1	Bising Yang Tertransmisi .....	42
4.1.3.2	Bising Yang Terdifraksi .....	44

4.1.3.2 Kebisingan Total Yang diterima.....	49
4.2 Pembahasan .....	50
BAB V Kesimpulan dan Saran.....	53
5.1 Kesimpulan .....	53
5.2 Saran .....	53
Daftar Pustaka	
Lampiran	

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Grafik Pembobotan A, Pembobotan B, dan Pembobotan C .....	7
Gambar 2. 2 Ilustrasi mekanisme kebisingan yang ditimbulkan oleh interaksi antara roda dan rel. (Thompson, 2009) .....	9
Gambar 2. 3 Peta Jaringan Jalan Rel di Pulau Jawa Tahun 2010	13
Gambar 2. 4 Rencana Jaringan Kereta Api di Pulau Jawa Tahun 2030.....	14
Gambar 2. 5 Batas-batas ruang jalur kereta api menurut Undang- undang Republik Indonesia No. 23 Tahun 2007....	15
Gambar 2. 6 (a) dan (b) Lokasi pengambilan dan pengukuran data .....	17
Gambar 2. 7 Semi-Infinite barrier .....	21
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian .....	23
Gambar 3. 2 Lokasi pengambilan data tingkat kebisingan kereta api pada jarak 15 meter, 30 meter, 60 meter dan 90 meter. Garis merah menunjukkan jalur kereta api ganda. .	24
Gambar 3. 3 Lokasi pengambilan data kebisingan lingkungan di Pemukiman Jalan Sememi Baru, Benowo, Jawa Timur.....	25
Gambar 3. 4 Skema konfigurasi pengukuran untuk pengambilan data kebisingan pada jarak 15 meter, 30 meter, 60 meter, dan 90 meter.....	26
Gambar 3. 5 Skema konfigurasi pengukuran untuk pengukuran tingkat kebisingan lingkungan. ....	27
Gambar 3. 6 Ilustrasi pengambilan data kebisingan kereta api dan durasi kereta api melintas.....	27
Gambar 3. 7 Simulasi 1 .....	29
Gambar 3. 8 Simulasi 2 .....	30
Gambar 3. 9 Simulasi 3 .....	30
Gambar 3. 10 Posisi barrier nampak atas .....	31
Gambar 3. 11 Barrier maekawa.....	33
Gambar 3. 12 Ilustrasi kebisingan total yang diterima.....	33

Gambar 4. 1 Hasil Pengukuran Tingkat Kebisingan Lingkungan di utara rel kereta api. ....	38
Gambar 4. 2 Hasil Pengukuran Tingkat Kebisingan Lingkungan di selatan rel kereta api. ....	39
Gambar 4. 3 Posisi barrier nampak atas .....	46

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku Tingkat Kebisingan dalam Surat Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. KEP-48/MENLH/11/1996 .....	11
Tabel 2. 2 Kriteria batas kebisingan menurut Menteri Kesehatan No.718/Menkes/XI/1987/718.....	12
Tabel 2. 3 Kerapatan Material Barrier.....	20
Tabel 4. 1 Hasil pengukuran dan prediksi tingkat kebisingan kereta api pengukuran dan prediksi pada jarak 15 m.	36
Tabel 4. 2 Hasil Prediksi Tingkat Kebisingan Lingkungan.....	41
Tabel 4. 3 Tingkat kebisingan kereta api setiap frekuensi .....	42
Tabel 4. 4 Tingkat kebisingan pada barrier dari sumber .....	42
Tabel 4. 5 Nilai reduksi bising setelah melewati barrier .....	43
Tabel 4. 6 Nilai transmisi bising tiap frekuensi simulasi 1,2, dan 3 .....	43
Tabel 4. 7 Nilai kebisingan overall yang tertransmisi .....	44
Tabel 4. 8 Penentuan nilai R yang sesuai .....	45
Tabel 4. 9 Panjang total barrier .....	45
Tabel 4. 10 Hubungan antara IL dan $\delta_1$ .....	47
Tabel 4. 11 Reduksi bising oleh barrier dengan metode maekawa .....	48
Tabel 4. 12 Kebisingan overall yang terdifraksi .....	49
Tabel 4. 13 Kebisingan total yang diterima.....	49
Tabel 4. 14 Atenuasi bising jika tinggi barrier diturunkan menjadi 4 meter pada Simulasi ke-1 .....	50
Tabel 4. 15 Kebisingan total yang diterima jika tinggi barrier diturunkan menjadi 4 meter pada Simulasi ke-1 .....	50

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR NOTASI

$L_{Total}$	= Tingkat tekanan bunyi total (dB)
$L_1, L_2, \dots, L_n$	= Kebisingan sumber-sumber <i>incoherent</i> (dB)
$L_{Rata-rata}$	= Tingkat tekanan bunyi rata-rata (dB)
$n$	= Jumlah TTB
$L_{eq}$	= Tingkat tekanan bunyi ekuivalen (dB)
$L_i$	= Tingkat kebisingan (dB)
$t_i$	= Lamanya waktu kebisingan $L_i$ (detik)
$T$	= $\sum t_i = t_1 + t_2 + t_3 + \dots$ (detik)
$L_S$	= Tingkat kebisingan siang (dBA)
$L_M$	= Tingkat kebisingan malam (dBA)
$L_{SM}$	= Tingkat kebisingan siang malam (dBA)
$B$	= Barrier Attenuation (dB)
$\delta$	= Path length difference (m)
$\lambda$	= Panjang gelombang (m)
$A$	= Jarak sumber bising ke puncak barrier (m)
$B$	= Jarak puncak barrier ke pendengar (m)
$d$	= Jarak sumber bising ke pendengar
$N$	= Fresnel number
$TL$	= <i>Transmission Loss</i> (dB)
$W$	= Massa jenis (kg/m <sup>2</sup> /cm)
$f$	= Frekuensi (Hz)
$C$	= Koefisien = 47
$NR$	= <i>Noise Reduction</i> (dB)
$L_{p1}$	= Tingkat tekanan bunyi di ruang sumber (dBA)
$L_{p2}$	= Tingkat tekanan bunyi di ruang penerima (dBA)
$TL$	= <i>Transmission Loss</i> (dB)
$S$	= Luas dinding (m <sup>2</sup> )
$R$	= Konstanta ruang penerima (dB)
$IL$	= <i>Insertion Loss</i> (dB)

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kereta api merupakan salah satu sarana transportasi umum yang diminati oleh masyarakat Indonesia karena kereta api memiliki banyak keunggulan terutama untuk transportasi darat jarak jauh diantaranya yaitu harga tiket perjalanan yang murah dan mudah didapatkan, waktu tempuh yang cepat karena kereta api memiliki jalur sendiri dan diutamakan daripada transportasi darat lainnya, kereta/gerbong yang nyaman, dan tempat pemberhentian/stasiun kereta yang banyak dan strategis baik kawasan dalam kota atau pinggiran kota sehingga penumpang dapat dengan mudah memilih tempat turun yang paling dekat dengan tujuannya. Selain itu, kereta api merupakan sarana transportasi yang paling ramah lingkungan jika dibandingkan dengan jenis transportasi lain, masalah terbesar dari kereta api adalah kebisingan yang ditimbulkannya terhadap lingkungan.

Dalam Rancangan Induk Perkeretaapian Nasional tahun 2030, Pemerintah Indonesia merancang untuk menjadikan kereta api sebagai *Leading Transportation Mode* atau ingin menjadikan kereta api sebagai transportasi unggulan yang menjadi pilihan masyarakat. Untuk mencapai tujuan tersebut pemerintah semakin meningkatkan sarana dan prasarana perkeretaapian. Berbagai bentuk pengembangan dan peningkatan sarana dan prasara perkeretaapian mulai dilakukan diseluruh Indonesia demi mewujudkan RIPNas 2030. Salah satu upaya dalam peningkatan sarana perkeretaapian yaitu proyek pembangunan jaringan jalan kereta api ganda (*double track*). Hal yang akan dibahas dalam tugas akhir ini yaitu dampak peningkatan kebisingan lingkungan setelah dilakukan proyek *double track* terutama pada kawasan yang digunakan untuk pemukiman. Karena pada proyek *double track* selain penambahan volum kendaraan juga meningkatkan kecepatan kereta api. Secara teori apabila terdapat dua sumber suara dengan diasumsikan memiliki tingkat kebisingan yang sama jika dijumlahkan akan meningkatkan tingkat kebisingannya

sebesar 3 dB. Dalam penelitian yang sebelumnya oleh Ajeng Putri Mayangsari tahun 2010 sudah dilakukan pengukuran nilai TTB oleh kereta api pada jarak 10 m, 20 m, 30 m, 40 m, dan 50 m sebesar 92.76 dBA, 85.91 dBA, 84.71 dBA, 82.86 dBA, dan 81.01 dBA berlokasi di jalan Ambengan Surabaya. Nilai hasil pengukuran ini mungkin berbeda karena lokasi dan waktu pengukuran yang berbeda. Namun nilai tingkat kebisingan ini dapat menjadi referensi awal untuk pengukuran dalam tugas akhir ini.

Permasalahan yang sebenarnya sudah ada sejak lama dan belum terselesaikan yaitu bagaimana dampak eksposur kebisingan terhadap pemukiman-pemukiman yang dilewati oleh jalan rel kereta api, mengingat banyak lokasi pemukiman yang sangat dekat dengan jalan rel kereta api. Sehingga dalam tugas akhir ini penulis ingin melakukan penelitian untuk mengevaluasi bagaimana tingkat kebisingan lingkungan pada suatu pemukiman setelah dilakukan proyek *double track*. Setelah itu, penulis akan menawarkan langkah-langkah mitigasi yang dapat ditempuh apabila tingkat kebisingan lingkungan melebihi standar.

## 1.2 Permasalahan

Adapun permasalahan yang akan diangkat dalam pengerjaan tugas akhir ini yaitu: “Apakah tingkat kebisingan lingkungan yang bersumber dari KA yang dilewati proyek *double track* sudah melebihi standar atau tidak? dan Langkah-langkah mitigasi apa yang dapat ditempuh untuk mengurangi tingkat kebisingan lingkungan pada pemukiman tersebut?”

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang dibuat dalam penelitian ini:

1. Metode Pengukuran, Pengolahan, dan Penilaian tingkat kebisingan lingkungan berdasarkan pada KepMen LH No. KEP-48/MENLH/11/1996.
2. Penentuan tingkat kebisingan dari kereta api didasarkan pada tingkat kebisingan ekivalen siang malam ( $L_{SM}$ ) pada

lingkungan pemukiman dilakukan di dua titik yaitu di sisi utara dan selatan jalur kereta api.

3. Kebisingan kereta api diukur di titik penerima pada fasad bangunan.
4. Sumber kebisingan kereta api diasumsikan sebagai sumber bising titik yang bergerak dengan sumber kebisingan paling besar berasal dari lokomotif dan sambungan rel yang dilewati roda kereta api.
5. Nilai atenuasi Noise Barrier dilakukan secara perhitungan dan tidak dilakukan pengukuran secara langsung.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui tingkat kebisingan lingkungan pada pemukiman yang berada di sisi jalur ganda (*double track*).
2. Menentukan langkah-langkah mitigasi yang dapat ditempuh untuk mengurangi tingkat kebisingan lingkungan akibat kereta api pada pemukiman.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah untuk bahan perbandingan dan evaluasi tingkat kebisingan lingkungan pada titik pengukuran lain yang juga dilewati proyek *double track* serta memberikan informasi langkah-langkah mitigas yang dapat ditempuh untuk mengurangi tingkat kebisingan lingkungan.

#### **1.6 Sistematika Laporan**

Sistematika penulisan laporan yang digunakan dalam penulisan tugas akhir adalah sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Berisikan hal-hal umum yang memaparkan latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika laporan.

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Berisikan materi serta teori-teori penunjang yang terkait dengan penelitian tugas akhir.

## **BAB III METODOLOGI**

Berisikan tentang metode yang digunakan dalam penelitian tugas akhir, langkah, dan prosedur penelitian.

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisikan analisa hasil penelitian dengan mengaitkannya terhadap teori yang digunakan.

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisikan tentang kesimpulan pokok dari seluruh rangkaian penelitian yang telah dilakukan dan saran yang dapat dijadikan pengembangan penelitian selanjutnya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kebisingan**

Kebisingan dalam keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. KEP48/MENLH/11/1996 diartikan sebagai bunyi yang tidak diinginkan dari usaha atau kegiatan dalam tingkat dan waktu tertentu yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan. Tingkat kebisingan adalah ukuran energi bunyi yang dinyatakan dalam satuan desibel (dB). dBA adalah satuan tingkat kebisingan dalam kelas A yaitu kelas yang sesuai dengan respon telinga manusia normal. Kebisingan mempengaruhi orang baik secara fisiologis maupun psikologis. Tingkat kebisingan di atas 40 dBA dapat mempengaruhi kesejahteraan, dengan kebanyakan orang mengalami gangguan pada 50 dBA dan sangat terganggu pada 55 dBA. Tingkat kebisingan di atas 65 dBA merugikan kesehatan. (Khan, 2011)

Bising umumnya diklasifikasikan dalam kategori berikut:

- Bising kontinyu/steady. Contoh : bising yang ditimbulkan oleh mesin pendingin ruangan, kipas angin, dan lain sebagainya
- Bising intermiten/terputus-putus. Contoh : suara kereta api, pesawat, bising lalu lintas, dan lain sebagainya
- Bising yang bervariasi waktu.
- Bising impulsive. Contoh shunting kereta, kopling, berhenti, mulai, dll.).

#### **2.2 Tanggapan Bising**

Tanggapan manusia terhadap bising berbeda-beda baik secara fisiologis maupun psikologis. Efek fisiologis adalah efek yang mengenai sistem kerja organ tubuh manusia. Bising yang tiba-tiba dengan tekanan yang tinggi dapat menyebabkan perubahan dalam tubuh manusia, contohnya bising yang ditimbulkan oleh kereta api. Apabila dibiarkan secara terus-menerus akan mempengaruhi kinerja organ dan kurang baik kesehatan. Efek bising terhadap manusia secara fisiologis diantaranya adalah sebagai berikut:

- Bergesernya ambang pendengaran.
- Mempengaruhi kinerja organ-organ tubuh.
- Rusaknya organ-organ tubuh secara permanen.

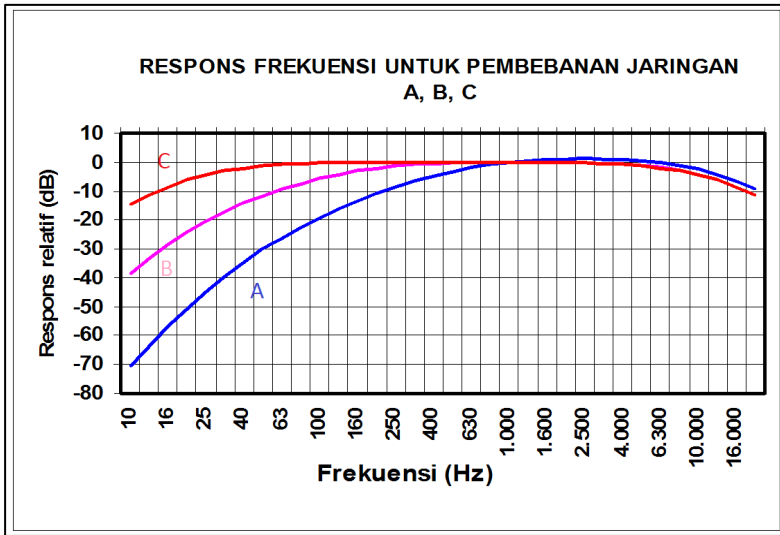
Disamping efek fisiologis terdapat juga efek psikologis yaitu efek yang mempengaruhi kejiwaan atau perasaan seseorang secara tidak langsung. Efek psikologis yang ditimbulkan oleh keadaan bising diantaranya yaitu sulit tidur, cepat marah, dan stress atau tegang.

### 2.3 Skala Desibel

Tingkat tekanan bunyi atau *Sound Pressure Level* adalah logaritma perbandingan antara tekanan suara pada posisi tertentu dari sumber dibandingkan dengan tekanan suara referensi yang besarnya  $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ . Satuan tingkat tekanan bunyi dinyatakan dalam desibel (dB). Skala desibel disesuaikan dengan beban jaringannya, sebagai berikut :

- Skala dBA merupakan respon yang paling mewakili batasan pendengaran manusia, dan respon telinga terhadap bising lingkungan.
- Skala dBB digunakan untuk tingkat kepekaan yang lebih tinggi, seperti bising pada lingkungan industri.
- Skala dBC digunakan untuk tingkat kebisingan industri yang lebih tinggi dari mesin-mesin.





Gambar 2. 1 Grafik Pembobotan A, Pembobotan B, dan Pembobotan C

Kombinasi dua atau lebih tingkat tekanan bunyi pada satu lokasi melibatkan penambahan desibel yang bersifat logaritmik. Kuantitas yang ditambahkan adalah energi bunyi. Menambahkan dua buah bunyi identik akan menghasilkan peningkatan 3 dB.

$$\begin{aligned}
 L_{Total} &= 10 \log \left( 2 \times 10^{\frac{L_1}{10}} \right) \\
 &= 10 \log \left( 10^{\frac{L_1}{10}} \right) + 10 \log 2 \\
 &= 10 \log \left( 10^{\frac{L_1}{10}} \right) + 3 \text{ dB} \dots \dots \dots (2.1)
 \end{aligned}$$

Dengan:

- $L_{Total}$  = Tingkat tekanan bunyi total (dB)
- $L_1$  = TTB pertama (dB)
- $L_2$  = TTB kedua (dB)

Sedangkan untuk penambahan desibel sumber bising yang tidak indentik (*incoherent*) adalah sebagai berikut :

$$L_{Total} = 10 \log \left( 10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right) \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan:

$L_{Total}$  = Tingkat tekanan bunyi total (dB)

$L_1, L_2, \dots, L_n$  = Kebisingan sumber-sumber *incoherent* (dB)

Untuk menghitung nilai rata-rata dari beberapa nilai decibel yang berbeda digunakan persamaan berikut :

$$L_{Rata-rata} = 10 \log \left( \frac{10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}}}{n} \right) \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan:

$L_{Rata-rata}$  = Tingkat tekanan bunyi rata-rata (dB)

$L_1, L_2, \dots, L_n$  = TTB pertama, TTB kedua, TTB ke n (dB)

n = Jumlah TTB

Tingkat kebisingan lingkungan dapat digambarkan dengan grafik nilai  $L_{eq}$  setiap waktu.  $L_{eq}$  adalah ukuran dari rata-rata energi dari berbagai variasi tingkat tekanan bunyi dari suatu periode waktu.  $L_{eq}$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$L_{eq} = 10 \log \left( \frac{1}{T} \sum t_i 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \dots \dots \dots (2.4)$$

Dengan:

$L_{eq}$  = Tingkat tekanan bunyi ekuivalen (dB)

$L_i$  = Tingkat kebisingan (dB)

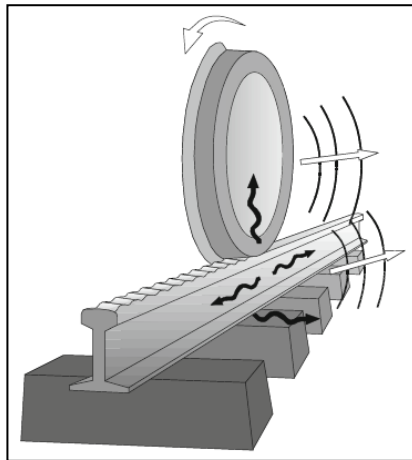
$t_i$  = Lamanya waktu kebisingan  $L_i$  (detik)

$T$  =  $\sum t_i = t_1 + t_2 + t_3 + \dots$  (detik)

## 2.4 Sumber Bising Kereta Api

Sumber bising kereta api dihasilkan oleh gerakan kereta api yang melintas. Sumber bising tersebut berasal dari :

1. Bunyi deru dari sistem penggerak kereta api atau lokomotif,
2. Kebisingan dari peralatan (misalnya kipas angin, mesin, sistem pendingin atau kompresor),
3. Kebisingan aerodinamis, dan
4. Kebisingan roda akibat interaksi antara roda dengan permukaan rel. Interaksi roda dengan rel menghasilkan tiga tipe kebisingan. yaitu: 1) *rolling noise* karena kontak yang sifatnya kontinyu, 2) dampak karena roda menemui rel yang diskontinyu (terputus) seperti pada sambungan rel, persilangan, dan 3) dencitan yang dihasilkan oleh gesekan pada tikungan yang tajam atau akibat pengereman.



Gambar 2. 2 Ilustrasi mekanisme kebisingan yang ditimbulkan oleh interaksi antara roda dan rel. (Thompson, 2009)

## 2.5 Penilaian Kebisingan

Untuk menilai potensi dampak kebisingan yang ditimbulkan, penting untuk mempertimbangkan baik eksposur secara keseluruhan kebisingan dalam 24 jam dan kebisingan setiap kereta melintas. Satuan dasar yang digunakan untuk penilaian kebisingan adalah dBA yang dideskripsikan sebagai kebisingan yang diterima pada satu waktu dan dibaca oleh alat pembaca kebisingan dengan memilih skala pembobotan A. Beberapa kriteria yang digunakan dalam penilaian kebisingan kereta api yang melintas yaitu:

## 2.6 $L_{\max}$ (Tingkat Kebisingan Maksimum)

Saat sebuah kendaraan mendekat, lewat, kemudian menghilang di kejauhan, tingkat kebisingannya naik, mencapai maksimum, dan kemudian memudar menjadi kebisingan latar belakang. Tingkat kebisingan maksimum yang dicapai selama kendaraan melintas ini disebut tingkat kebisingan maksimum, atau " $L_{\max}$ ".  $L_{\max}$  tidak digunakan sebagai deskriptor untuk penilaian dampak kebisingan lingkungan karena beberapa alasan.  $L_{\max}$  mengabaikan jumlah dan durasi kejadian transit, yang penting untuk reaksi orang terhadap kebisingan, dan tidak dapat dihitung menjadi ukuran dampak kumulatif satu jam atau 24 jam.  $L_{\max}$  tidak sesuai digunakan untuk perbandingan antar moda transportasi yang berbeda.

## 2.7 $L_{SM}$

Untuk menilai tingkat kebisingan lingkungan dapat dilakukan dengan menggunakan metrik LSM. Waktu pengukuran dilakukan selama aktivitas 24 jam (LSM) dengan cara pada siang hari selama 16 jam (LS) pada selang waktu 06.00 – 22.00 dan aktivitas malam hari selama 8 jam ( $L_M$ ) pada selang 22.00 – 06.00. Persamaan yang digunakan untuk menghitung tingkat kebisingan  $L_S$  adalah sebagai berikut :

$$L_S = 10 \log \left( \frac{1}{16} \sum t_i 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \dots \dots \dots (2.6)$$

$L_M$  dihitung sebagai berikut :

$$L_M = 10 \log \left( \frac{1}{8} \sum t_i 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \dots \dots \dots (2.7)$$

Untuk mengetahui apakah kebisingan sudah melampaui tingkat kebisingan maka perlu dicari nilai  $L_{SM}$  dari pengukuran lapangan.  $L_{SM}$  dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$L_M = 10 \log \left( \frac{1}{24} \left( 16 \cdot 10^{\frac{L_S}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{M+5}}{10}} \right) \right) \dots \dots \dots (2.8)$$

Dengan :

$L_S$  = Tingkat kebisingan siang (dBA)

$L_M$  = Tingkat kebisingan malam (dBA)

$L_{SM}$  = Tingkat kebisingan siang malam (dBA)

Untuk mengevaluasi tingkat kebisingan, nilai  $L_{SM}$  yang dihitung dibandingkan dengan nilai baku tingkat kebisingan yang ditetapkan dengan toleransi +3 dBA.

## 2.8 Standar Baku Tingkat Kebisingan

Di Indonesia penilaian tingkat kebisingan didasarkan pada 2 ketentuan, yang pertama yaitu Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup KEP-48/MENLH/11/1996 mengenai Baku Tingkat Kebisingan dan yang kedua yaitu berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No.718/MENKES/XI/1987 mengenai Kriteria Batas Kebisingan, masing-masing sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Baku Tingkat Kebisingan dalam Surat Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. KEP-48/MENLH/11/1996

Peruntukan Kawasan/ Lingkungan Kegiatan	TTB (dBA)
a. Peruntukan kawasan	
1. Perumahan dan pemukiman	55
2. Perdagangan dan Jasa	70
3. Perkantoran dan Perdagangan	65
4. Ruang Terbuka Hijau	50

5. Industri	70
6. Pemerintahan dan Fasilitas Umum	60
7. Rekreasi	70
8. Khusus:	
▪ Bandar udara <sup>*)</sup>	
▪ Stasiun Kereta Api <sup>*)</sup>	
▪ Pelabuhan Laut	70
▪ Cagar Budaya	60
b. Lingkungan Kegiatan	
1. Rumah Sakit atau sejenisnya	55
2. Sekolah atau sejenisnya	55
3. tempat ibadah atau sejenisnya	55

<sup>\*)</sup> disesuaikan dengan ketentuan Menteri Perhubungan

Tabel 2. 2 Kriteria batas kebisingan menurut Menteri Kesehatan No.718/Menkes/XI/1987/718

Zone	Jenis Daerah	Batas Maksimum (dBA)	
		dianjurkan	dibolehkan
A	Rumah sakit, tempat penelitian	35	45
B	Perumahan, sekolah	45	55
C	Perkantoran, pertokoan, pasar	50	60
D	Industri, pabrik	60	70

## 2.9 Jaringan Kereta Api Pulau Jawa

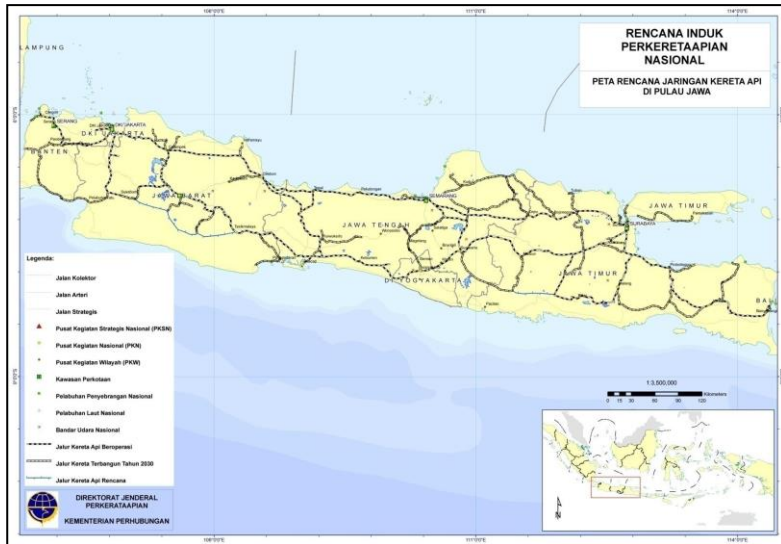
Secara historis penyelenggaraan kereta api di Indonesia dimulai sejak zaman Pemerintah kolonial Hindia Belanda (1840-1942), kemudian dilanjutkan pada masa penjajahan Jepang (1942-1945) dan setelah itu diselenggarakan oleh Pemerintah Indonesia (1945-sekarang). Jaringan jalan kereta api atau jalan rel yang pertama dibangun menghubungkan ruas desa Kemijen dengan desa

Tanggung, Semarang sejauh 26 km. Jaringan Jalan Rel di Indonesia sejak tahun 1999 dioperasikan oleh PT Kereta Api Indonesia (Persero). Di Pulau Jawa, jaringan jalan rel memiliki panjang 3230 km yang dibagi dalam tiga jalur yaitu utara, tengah, dan selatan. Gambar 2.3 menunjukkan peta jaringan jalan rel di pulau jawa pada tahun 2010 sedangkan gambar 2.4 menunjukkan rencana jaringan rel kereta api di pulau jawa tahun 2030 yang tertuang dalam (Rencana Induk Perkeretaapian Nasional) RIPNas Tahun 2030.



Gambar 2. 3 Peta Jaringan Jalan Rel di Pulau Jawa Tahun 2010

Pada Tahun 2030 direncanakan akan dibangun secara bertahap prasarana perkeretaapian meliputi pembangunan jalur baru termasuk jalur ganda (*double track*). Jalur ganda lintas utara (Cirebon – Semarang – Bojonegoro – Surabaya), jalur ganda lintas selatan (Cirebon – Prupuk – Purwokerto – Kroya – Kutoarjo – Solo – Madiun – Surabaya), jalur ganda Surabaya – Jember – Banyuwangi dan Bangil – Malang – Blitar – Kertosono.



Gambar 2. 4 Rencana Jaringan Kereta Api di Pulau Jawa Tahun 2030

Salah satu permasalahan perkeretaapian nasional yaitu dampak tingkat kebisingan yang ditimbulkannya terhadap lingkungan. Dampak tersebut tidak dapat dihindari. Apalagi pada saat hampir memasuki kawasan perkotaan, pemukiman-pemukiman letaknya sangat dekat dengan jalan rel. Jika keadaan kebisingan sekarang sudah tinggi maka pembangunan dalam berbagai sarana juga akan menghasilkan dampak kebisingan yang lebih tinggi jika tidak disertai dengan penanganannya.

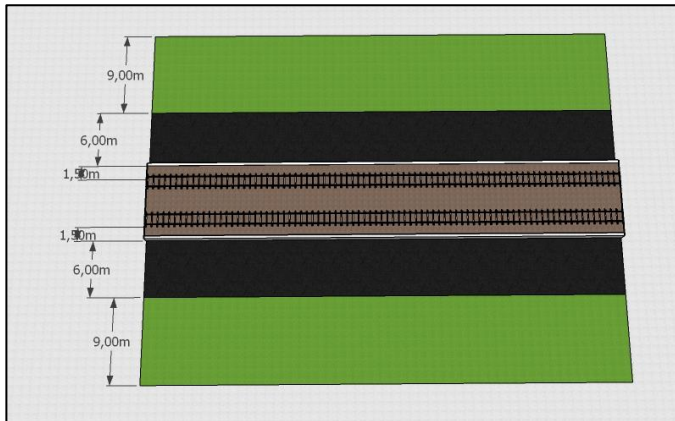
## 2.10 Peraturan Pemerintah Tentang Jalur Kereta Api

Dalam Undang-undang Republik Indonesia No.23 tahun 2007 tentang Perkeretaapian diatur mengenai jalur kereta api nasional. Dalam undang-undang tersebut diterangkan mengenai lebar jalur kereta api. Jalur kereta api sendiri dibagi menjadi tiga meliputi:

- Ruang manfaat jalur kereta api,
- Ruang milik jalur kereta api, dan
- Ruang pengawasan jalur kereta api.



Batas ruang milik jalur kereta api yaitu paling rendah 6 meter dari sisi kiri dan kanan ruang manfaat jalur kereta api. Batas ruang pengawasan jalur kereta api yaitu paling rendah 9 meter dari sisi kiri dan kanan ruang milik jalur kereta api. Sedangkan ruang manfaat jalur kereta api terdiri dari jalur rel dan ruang disisi kiri dan kanan rel selebar 1.5 meter. Sehingga berdasarkan undang-undang tersebut lebar ruang jalur kereta api yaitu 15 meter dari sisi kiri dan kanan ruang manfaat jalur kereta api atau 16.5 meter dari sisi terluar jalur rel. Berikut ini merupakan ilustrasi jalur kereta api berdasarkan Undang-undang Republik Indonesia No.23 tahun 2007.



Gambar 2. 5 Batas-batas ruang jalur kereta api menurut Undang-undang Republik Indonesia No. 23 Tahun 2007

### 2.11 Lokasi Penelitian

Pada tahun 2014 pembangunan jalur ganda lintas utara telah selesai dilaksanakan dan pada tahun yang sama jalur tersebut mulai dioperasikan. Sejak dioperasikan jalur ganda frekuensi dan kapasitas kereta api di koridor utara Jawa semakin meningkat. Jadwal kedatangan dan keberangkatan kereta api menjadi lebih banyak sehingga diprediksikan akan terjadi peningkatan tingkat kebisingan.

Penelitian yang dilakukan mengambil lokasi antara stasiun Kandungan dan Benowo. Pemilihan lokasi tersebut sebagai tempat pengambilan data telah mendapatkan rekomendasi dari PT Kereta Api Indonesia (Persero) dengan pertimbangan sebagai berikut : (1) Lokasi pemukiman dalam kurun waktu 24 jam dilewati sebanyak kurang lebih 40-56 kereta api baik kereta api penumpang maupun kereta api barang. (2) Lokasi tersebut telah direncanakan sebagai titik pertemuan kereta api dari kedua jalur sehingga pada suatu waktu tingkat kebisingan yang ditimbulkan menjadi maksimal. Berikut ini merupakan gambar lokasi tempat pengambilan data pengukuran tersebut.



(a)



(b)

Gambar 2. 6 (a) dan (b) Lokasi pengambilan dan pengukuran data

## 2.12 Mitigasi

Untuk menganalisa dan mengatasi kebisingan beberapa upaya yang dapat dilakukan mencakup tiga hal yaitu (Setyowati, 2014):

- Pengendalian pada sumber kebisingan

Yaitu melakukan upaya agar tingkat kebisingan yang dihasilkan oleh sumber kebisingan dapat dikurangi ataupun dihilangkan sama sekali. Contohnya antara lain menciptakan mesin-mesin dengan tingkat kebisingan dibawah standar kebisingan, menempatkan sumber kebisingan jauh dari penerima khususnya pada para pekerja, menutupi sumber kebisingan (*acoustic enclosure*).

- Pengendalian pada medium

Pada pengendalian ini ada 2 macam medium yaitu udara serta struktur bangunan. Beberapa usaha pengendalian kebisingan pada medium ini antara lain merancang penghalang akustik (*acoustic barrier*), dinding insulasi (*insulation walls*) serta memutus jalur getaran melalui pemasangan *vibration absorber*.

- Pengendalian pada penerima

Yaitu melakukan upaya perlindungan pada pendengar (manusia) yang terkena paparan bising (*noise exposure*) dengan intensitas tinggi dan waktu yang cukup lama. Contoh dengan memakai pelindung telinga (*ear protector*), seperti misalnya *ear plug*, *ear muff* atau kombinasi dari keduanya.

### 2.13 Penghalang Bising (*Noise Barrier*)

Noise barrier atau penghalang bising adalah suatu dinding atau partisi penghalang yang digunakan untuk mengendalikan transmisi bising yang dirambatkan melalui udara (*airborne noise*) dimana dinding ini letaknya antara sumber dan penerima. Fungsi dari penghalang bising ini adalah memberikan zona bayangan (*shadow zone*) atau daerah dimana mempunyai bising yang lebih senyap pada penerima. Berikut ini adalah metode-metode dalam perancangan noise penghalang bising/*noise barrier*.

- Metode Maekawa

Metode maekawa merupakan salah satu metode yang digunakan dalam perancangan penghalang bising yang bergantung pada jarak sumber ke penghalang bising dan bergantung pada frekuensi bunyi.

Besarnya atenuasi atau pengurangan tingkat kebisingan akibat dipasang *barrier* didapatkan dari persamaan berikut :

$$B = 10 \log \left( 3 + \frac{40\delta}{\lambda} \right) \dots \dots \dots (2.9)$$

Dengan :

$B$  = Barrier Attenuation (dB)  
 $\delta$  = Path length difference (m)  
 $\lambda$  = Panjang gelombang (m)

Sedangkan *path length difference* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\delta = A + B - d \dots \dots \dots (2.10)$$

Dengan :

$\delta$  = Path length difference (m)  
 $A$  = Jarak sumber bising ke puncak barrier (m)

- B = Jarak puncak barrier ke pendengar (m)  
 d = Jarak sumber bising ke pendengar

- Metode Grafik

Metode lain yang digunakan untuk menentukan besarnya atenuasi *barrier* adalah metode grafik. Untuk mengetahui besarnya atenuasi *barrier* digunakan *Fresnel number* yang dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$N = \frac{2\delta}{\lambda} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dengan :

- $N$  = Fresnel number  
 $\delta$  = Path length difference (m)  
 $\lambda$  = Panjang gelombang (m)

- Metode Nomograph

Metode nomograph digunakan untuk menghitung ketinggian dari *noise barrier* sesuai dengan besarnya atenuasi yang diinginkan. Penentuan atenuasi dengan menggunakan grafik nomograph. Dalam menentukan nilai atenuasi dibutuhkan nilai *barrier break*, *barrier position*, jarak sumber dengan penerima, dan *angle subtended*.

## 2.14 Transmission Loss

*Transmission Loss* (TL) atau sering disebut sebagai rugi transmisi suatu partisi merupakan jumlah decibel berkurangnya energi bunyi datang pada suatu partisi bila melewati struktur. Nilai numerik TL bergantung pada konstruksi partisi dan berubah terhadap frekuensi bunyi. TL tidak bergantung pada sifat akustik ruang yang dipisahkan oleh partisi tersebut. Rugi transmisi juga dipengaruhi oleh adanya frekuensi, dimana untuk frekuensi rendah TL dipengaruhi oleh ketebalan dari dinding, sedangkan untuk frekuensi yang semakin besar TL dipengaruhi oleh massa dari dinding. Persamaan rugi transmisi bunyi yang berkaitan dengan frekuensi adalah sebagai berikut :

$$TL = 20 \log W + 20 \log f - C \dots\dots\dots (2.10)$$

Dengan :

$TL$  = *Transmission Loss* (dB)

$W$  = Massa jenis (kg/m<sup>2</sup>/cm)

$f$  = Frekuensi (Hz)

$C$  = Koefisien = 47

Tabel 2. 3 Kerapatan Material Barrier

Material	Kerapatan ( <i>Surface Density</i> )	
	Tebal (Lb/ft <sup>2</sup> /in)	Tebal (Kg/m <sup>2</sup> /cm)
Brick	10-12	19-23
Cider concrete	8	15
Dense concrete	12	23
Wood	2-4	4-8
Common glass	15	29
Lead sheets	65	125
Gypsum	5	10

Reduksi bising (*Noise Reduction*) adalah istilah yang lebih umum dari pada  $TL$  untuk menyatakan insulasi bunyi antara ruang-ruang karena ikut memperhitungkan efek berbagai jejak transmisi antara ruang sumber dan ruang penerima dan juga sifat akustik nya.  $NR$  dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$NR = L_{P1} + L_{P2} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$NR = TL - 10 \log \left[ \left( \frac{1}{4} + \frac{S}{R} \right) \right] \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan :

$NR$  = *Noise Reduction* (dB)

$L_{P1}$  = Tingkat tekanan bunyi di ruang sumber (dBA)

$L_{P2}$  = Tingkat tekanan bunyi di ruang penerima (dBA)

$TL$  = *Transmission Loss* (dB)

$S$  = Luas dinding (m<sup>2</sup>)

$R$  = Konstanta ruang penerima (dB)

*Noise reduction* pada ruang non reverberant, NR akan melampaui TL sekitar 6 dB:

$$NR = TL + 6 \dots \dots \dots (2.13)$$

### 2.15 Insertion Loss Barrier

Insertion Loss untuk barrier semi infinite didapatkan dengan menggunakan persamaan berikut (JD Irwin, 1979 dalam Herman Siswanto, 2010):

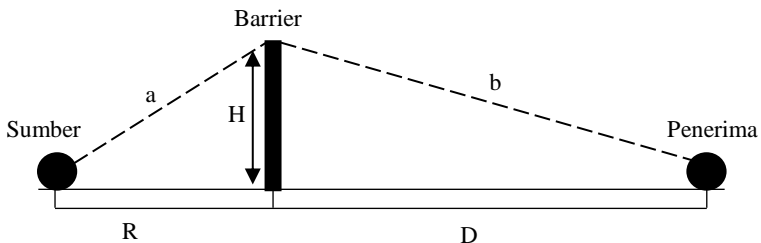
$$IL = -10 \log \left[ \frac{\lambda}{3\lambda + 20\delta_1} + \frac{\lambda}{3\lambda + 20\delta_2} + \frac{\lambda}{3\lambda + 20\delta_3} \right] \dots \dots \dots (2.13)$$

Dengan:

$IL$	= Insertion Loss (dB)
$\delta$	= Path length difference (m)
$\lambda$	= Panjang gelombang (m)

Dengan  $\delta_i$  adalah sebagai berikut:

$$\delta_i = \left[ \sqrt{R^2 + H^2} + \sqrt{D^2 + H^2} - (R + D) \right]$$



Gambar 2. 7 Semi-Infinite barrier

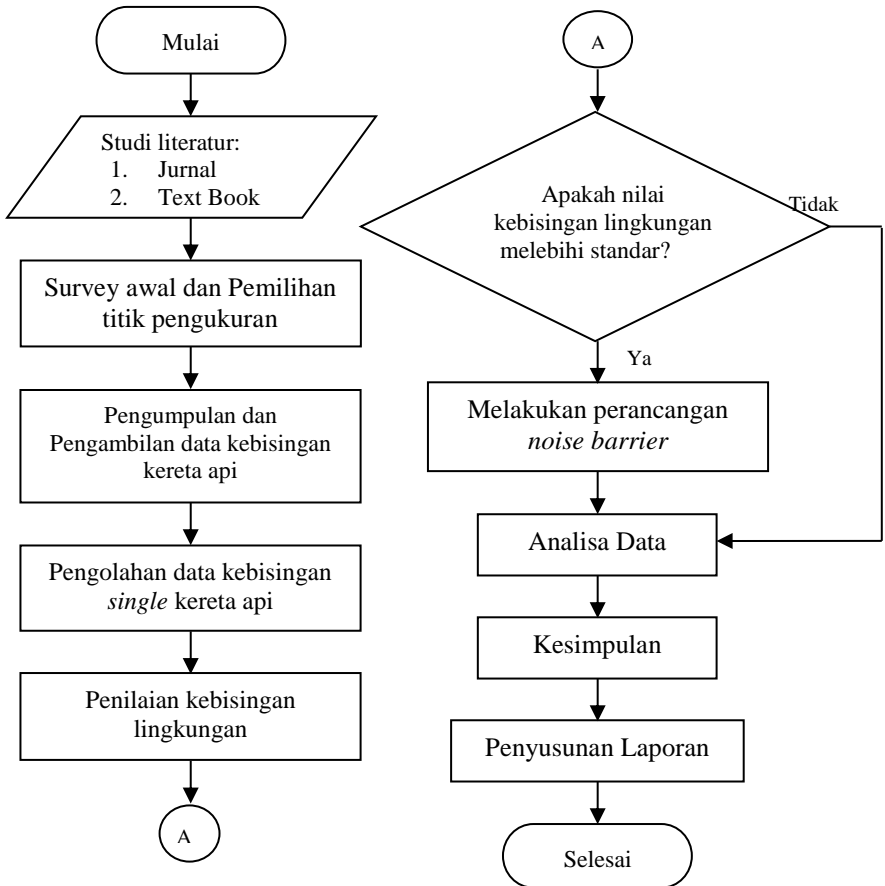
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Untuk mencapai tujuan penelitian, dilakukan beberapa tahapan yang ditunjukkan pada diagram alir berikut ini:



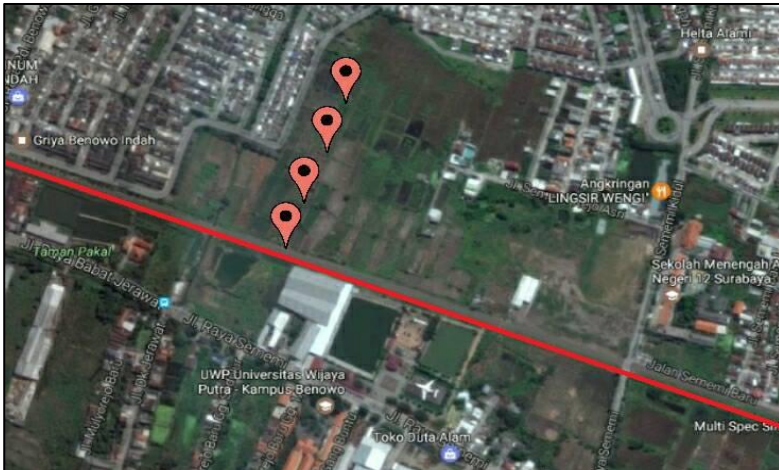
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

### 3.2 Studi Literatur dan Identifikasi Masalah

Tahap pertama dalam penelitian ini yaitu melakukan studi literatur. Literatur yang dipelajari berasal dari berbagai sumber diantaranya buku, laporan, jurnal, dan artikel baik dalam bentuk media cetak maupun digital. Setelah itu penulis mengidentifikasi permasalahan kemudian dilanjutkan dengan mencari solusi dari permasalahan dan langkah-langkah untuk mencapai solusi tersebut.

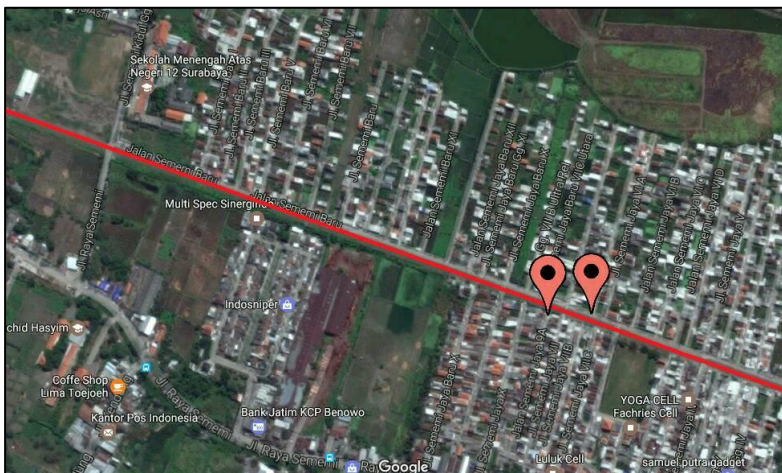
### 3.3 Survei dan Pemilihan Titik Pengukuran

Pengambilan data tingkat kebisingan dilakukan pada beberapa titik ukur yang terletak pada jarak 15 meter, 30 meter, 60 meter, dan 90 meter. Tujuannya yaitu untuk mengetahui bagaimana tingkat kebisingan yang ditimbulkan oleh kereta api pada jarak-jarak tersebut. Lokasi pengambilan data diambil melalui google map seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 3. 2 Lokasi pengambilan data tingkat kebisingan kereta api pada jarak 15 meter, 30 meter, 60 meter dan 90 meter. Garis merah menunjukkan jalur kereta api ganda.

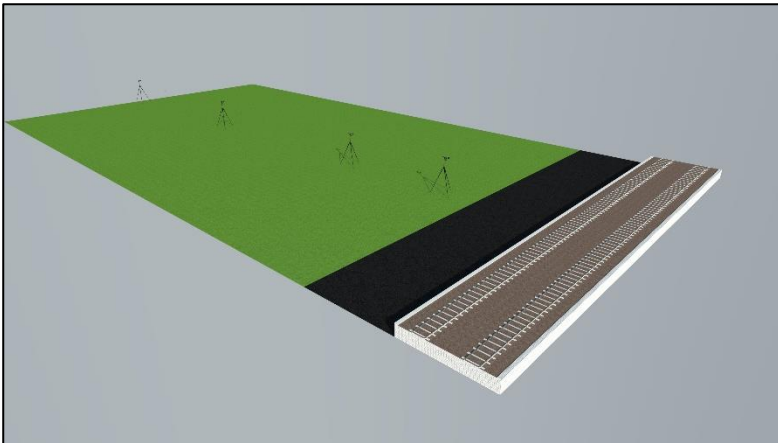
Selanjutnya dilakukan pengambilan data tingkat kebisingan kereta api pada pemukiman yang terletak dipinggir rel ganda selama 24 jam. Tujuannya yaitu untuk mengetahui bagaimana tingkat kebisingan lingkungan pada lokasi tersebut. Lokasi pengambilan data di Pemukiman Jalan Sememi Baru, Benowo. Pemukiman tersebut menurut Undang-Undang No. 23 Tahun 2007 Pasal 42 berada di ruang milik kereta api. Lokasi pemukiman tersebut dijadikan titik temu (*crossing*) dua kereta api dari arah berlawanan oleh PT. Kereta Api Indonesia. Banyaknya event dalam satu hari berdasarkan jadwal kereta api yang didapat dari PT. Kereta Api Indonesia yaitu antara 40-56 kereta. Lokasi pemukiman tersebut diambil melalui google map seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 3. 3 Lokasi pengambilan data kebisingan lingkungan di Pemukiman Jalan Sememi Baru, Benowo, Jawa Timur.

### 3.4 Pengumpulan dan Pengambilan Data Kebisingan

Data-data yang diperlukan untuk mendukung penelitian yaitu jadwal kereta api untuk mengetahui jumlah event dalam 24 jam, kecepatan kereta api, dan jenis kereta api. Data tersebut didapatkan dari PT. Kereta Api Indonesia. Selanjutnya dilakukan pengukuran tingkat kebisingan dengan menggunakan SLM, mode yang digunakan yaitu mode *fast*. SLM dipasang setinggi 1.5 meter dan diarahkan langsung ke sumber kebisingan, tidak diperbolehkan ada penghalang apapun. Pengambilan data kebisingan tidak boleh dilakukan pada saat hujan. SLM disambungkan ke laptop yang telah terpasang perangkat lunak *Real Time Analyzer* (RTA). RTA digunakan untuk merekam sekaligus menyimpan data tingkat tekanan bunyi tiap frekuensi dalam bentuk data Microsoft Excel. Tabel hasil pengukuran ditampilkan pada Lampiran A. Skema konfigurasi pengukuran ditunjukkan oleh gambar berikut.



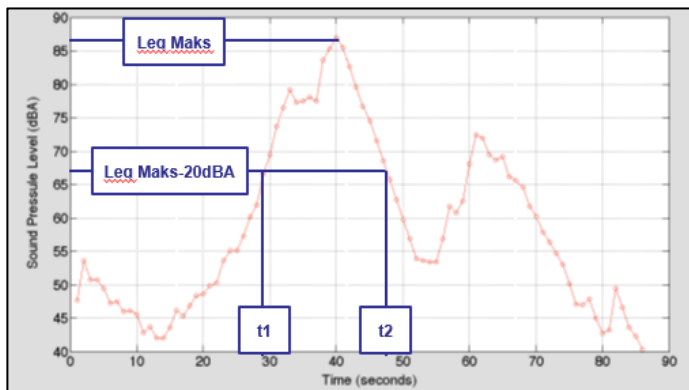
Gambar 3. 4 Skema konfigurasi pengukuran untuk pengambilan data kebisingan pada jarak 15 meter, 30 meter, 60 meter, dan 90 meter.



Gambar 3. 5 Skema konfigurasi pengukuran untuk pengukuran tingkat kebisingan lingkungan.

### 3.5 Pengolahan Data Kebisingan

Data yang didapatkan dari pengukuran berupa data tingkat tekanan bunyi tiap frekuensi dan *overall* dalam bentuk data Microsoft Excel. Dari data tersebut kemudian dihitung nilai  $L_{Eq}$ , dan  $L_{maks}$  tiap kereta.



Gambar 3. 6 Ilustrasi pengambilan data kebisingan kereta api dan durasi kereta api melintas.

Persamaan untuk menghitung nilai  $L_{Eq}$  adalah sebagai berikut:

$$L_{Eq} = 10 \log \left( \frac{1}{T} \sum_{t=0}^{t=n} 10^{0.1 \cdot L_{Eq,n}} \right) \dots \dots \dots (3.1)$$

Dengan :

$L_{Eq}$  = Tingkat kebisingan ekuivalen (dBA)

$T$  = Durasi kereta api melintas (detik)

Untuk mengetahui tingkat kebisingan pada jarak tertentu. Tingkat kebisingan kereta api yang terukur dibandingkan nilainya dengan hasil perhitungan dengan rumus sebagai berikut:

$$L_{Eq} = 86.2 + 18.4 \log \left( \frac{S}{80} \right) - 11.3 \log \left( \frac{d}{25} \right) \dots \dots \dots (3.2)$$

Dengan :

$L_{Eq}$  = Tingkat kebisingan kereta api (dBA)

$S$  = Kecepatan kereta (km/jam)

$d$  = Jarak pengukuran dari titik referensi (meter)

Untuk mengetahui apakah tingkat kebisingan sudah melampaui standar baku atau belum dilakukan penilaian tingkat kebisingan siang malam. Sebelumnya dihitung terlebih dahulu tingkat kebisingan siang dan tingkat kebisingan malam dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$L_S = 10 \log \left( \frac{1}{16 \times 3600} \sum_{t=0}^{t=n} 10^{0.1 \cdot L_{Aeq,n}} \right) \dots \dots \dots (3.3)$$

$$L_M = 10 \log \left( \frac{1}{8 \times 3600} \sum_{t=0}^{t=n} 10^{0.1 \cdot L_{Aeq,n}} \right) \dots \dots \dots (3.4)$$

Dengan :

$L_{Eq}$  = Tingkat kebisingan ekuivalen (dBA)

$t$  = Durasi kereta api melintas (detik)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung tingkat kebisingan siang dan malam adalah sebagai berikut :

$$L_{SM} = 10 \log \left\{ \frac{1}{12 \times 3600} \left( 16 \cdot 10^{0.1 \cdot L_{Siang}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{malam+5}}{10}} \right) \right\} \dots (3.5)$$

Dengan :

$L_{SM}$  = Tingkat kebisingan siang malam (dBA)

$L_{Siang}$  = Tingkat kebisingan siang, jam 6 pagi - 10 malam (dBA)

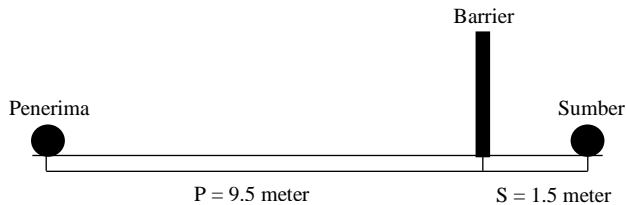
$L_{Malam}$  = Tingkat kebisingan malam, jam 10 malam - 6 pagi (dBA)

Hasil perhitungan tersebut kemudian dibandingkan dengan standar baku yang telah ditetapkan oleh pemerintah untuk kawasan pemukiman di Indonesia yaitu berdasarkan pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 48/MENLH/11/1996 yaitu sebesar  $\leq 55$  dBA.

### 3.6 Tahap Mitigasi

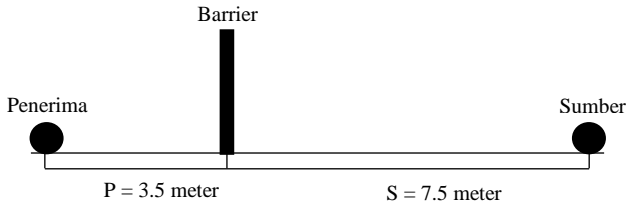
Salah satu prosedur mitigasi yaitu dengan memasang *barrier* antara sumber kebisingan dengan penerima. Penempatan *barrier* dilakukan dalam 3 simulasi yaitu:

1. *Barrier* diletakkan di batas ruang manfaat kereta api.



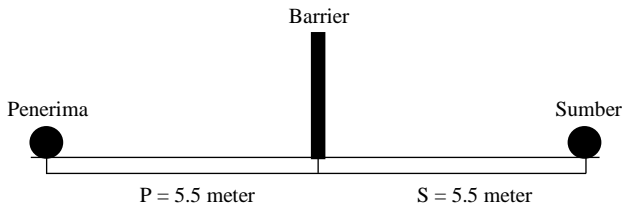
Gambar 3. 7 Simulasi 1

2. *Barrier* diletakkan di batas ruang milik kereta api.



Gambar 3. 8 Simulasi 2

3. *Barrier* diletakkan di tengah-tengah antara sumber dengan penerima.



Gambar 3. 9 Simulasi 3

Besarnya bising ketika tepat berada pada barrier ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$L_A - L_I = 20 \log \left( \frac{I}{S} \right) \dots\dots\dots (3.6)$$

Dengan:

$L_A$  = Tingkat kebisingan pada jarak A ke sumber bising

$L_I$  = Tingkat kebisingan pada jarak I ke sumber bising

I = Jarak total sumber bising ke penerima

S = Jarak sumber bising ke barrier

Sedangkan material *barrier* ditentukan menggunakan metode transmission loss dengan persamaan berikut :

$$TL = 20 \log f + 20 \log W - C \dots\dots\dots (3.7)$$

Dengan:

f = Frekuensi (Hz)

W = Masa jenis bahan tiap satuan luas ( $\text{kg/m}^2$ )



C = Koefisien, 47

Nilai reduksi bising didapatkan dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$NR = TL + 6 \dots\dots\dots (3.8)$$

Dengan:

NR = *Noise reduction*

TL = *Transmission Loss*

Untuk menentukan panjang barrier, pertama-tama ditentukan menggunakan R dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$L_r - L_R = 20 \log \left( \frac{R}{r} \right) \dots\dots\dots (3.9)$$

Dengan :

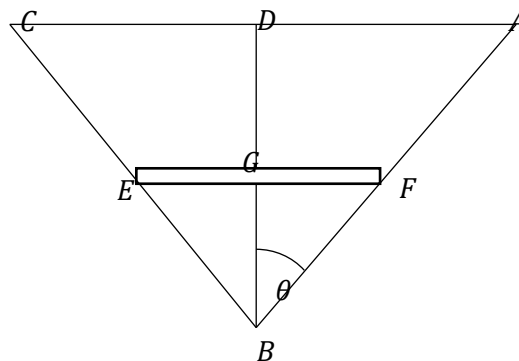
r = Jarak sumber bising ke penerima, P+S (meter)

R = Jarak ideal sumber bising ke penerima (meter)

Lr = Tingkat kebisingan pada jarak r dari sumber bising

LR = Tingkat kebisingan pada jarak R dari sumber bising

Jarak R adalah radial terhadap pusat sumber bising (titik acuan), apabila diilustrasikan sebagai berikut:



Gambar 3. 10 Posisi barrier nampak atas

Keterangan:

AD = DC = X = Jarak setengah panjang pendengar

EG = GF = L = Panjang setengah barrier

DG = P = Jarak pendengar ke barrier

BG = S = Jarak sumber ke barrier

Nilai X dicari dengan rumus phytagoras sebagai berikut :

$$x = \sqrt{AB^2 - BD^2} \dots\dots\dots (3.10)$$

Panjang total barrier adalah 2L. Dengan panjang setengah barrier (L) dicari menggunakan persamaan :

$$\tan \theta = \frac{x}{P+S} = \frac{L}{S} \dots\dots\dots (3.11)$$

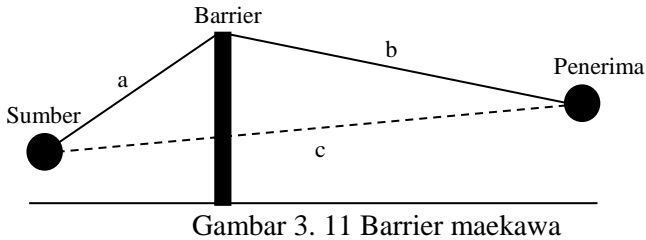
Untuk menentukan tinggi barrier harus dihitung terlebih dahulu nilai  $\delta_2$  dan  $\delta_3$  maka  $\delta_1$  dapat dicari. Nilai  $\delta_1$  adalah sebagai berikut :

$$IL = -10 \log \left[ \frac{\lambda}{3\lambda + 20\delta_1} + \frac{\lambda}{3\lambda + 20\delta_2} + \frac{\lambda}{3\lambda + 20\delta_3} \right] \dots\dots\dots (3.12)$$

Setelah nilai  $\delta_1$  didapatkan maka nilai Heff dapat ditentukan melalui persamaan:

$$\delta_1 = \left[ \left( \sqrt{P^2 + H_{ef}^2} + \sqrt{S^2 + H_{ef}^2} \right) - (P + S) \right] \dots\dots\dots (3.13)$$

Setelah mendapatkan nilai dimensi panjang dan tinggi barrier, Langkah selanjutnya yaitu menghitung atenuasi yang dihasilkan berdasarkan penempatan barrier dengan menggunakan metode Maekawa. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 11 Barrier maekawa

$$B = 10 \log \left( 3 + 40 \frac{40\delta}{\lambda} \right) \dots\dots\dots (3.14)$$

Dengan:

B = Atenuasi oleh barrier

$\lambda$  = Panjang gelombang bunyi

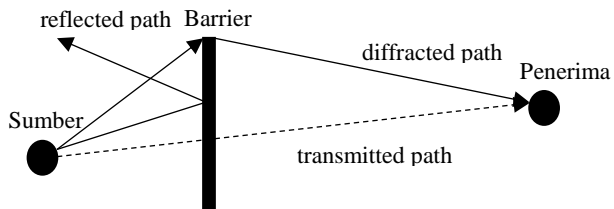
$\delta$  =  $a+b-c$ , Beda jarak yang ditempuh oleh bunyi yang menjalar

a = Jarak tinggi sumber bising dengan tinggi barrier

b = Jarak tinggi penerima dengan tinggi barrier

c = Jarak tinggi sumber bising dengan tinggi penerima

Total bising yang diterima oleh pendengar yaitu penjumlahan bising yang terdifraksi dan tertransmisi akibat pemasangan *barrier*. seperti yang diilustrasikan dalam gambar berikut:



Gambar 3. 12 Ilustrasi kebisingan total yang diterima

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Analisis Data**

Dalam Undang-undang No 23 Tahun 2007 tentang Perkeretaapian diatur mengenai batas-batas ruang pada jalur kereta api. Jalur kereta api dibagi menjadi tiga yaitu ruang manfaat kereta api, ruang milik kereta api, dan ruang pengawasan kereta api. Ruang manfaat kereta api diperuntukan khusus untuk kepentingan pengoperasian kereta api sehingga pendirian bangunan pada ruang manfaat kereta api tidak diperkenankan. Sedangkan pendirian bangunan pada ruang milik kereta api diijinkan dengan syarat tertentu asalkan tidak mengganggu kepentingan pengoperasian kereta api. Tanah pada ruang manfaat dan ruang milik kereta api merupakan aset milik PT. Kereta Api Indonesia (PT. KAI) dan disertifikatkan.

Data pengukuran yang didapatkan diolah untuk mengetahui tingkat kebisingan lingkungan pada batas-batas ruang jalur kereta api. Jika tingkat kebisingan suatu pemukiman yang berada dalam ruang milik kereta api melampaui standar baku maka untuk mereduksi tingkat kebisingannya bukan menjadi tanggung jawab dari pihak PT. Kereta Api Indonesia. Sedangkan jika tingkat kebisingan suatu pemukiman yang berada diluar ruang milik kereta api melampaui standar baku maka untuk mereduksi tingkat kebisingannya menjadi tanggung jawab bagi pihak PT. Kereta Api Indonesia.

Pengukuran, pengolahan, dan penilaian tingkat kebisingan akibat kereta api adalah sebagai berikut.

#### 4.1.1 Pengukuran dan Perhitungan Tingkat Kebisingan Kereta Api

Hasil pengukuran tingkat kebisingan kereta api pada jarak 15 meter, 30 meter, 60 meter, dan 90 meter dibandingkan dengan perhitungan menggunakan rumus untuk memprediksi tingkat kebisingan kereta api berdasarkan jarak dan kecepatan. Sebagai contoh diberikan suatu pengukuran secara langsung Kereta api Argo Bromo Anggrek pada jarak 15 meter dengan kecepatan kereta api 90 km/jam yaitu sebesar 91.29 dBA. Tingkat kebisingan yang diprediksi adalah sebagai berikut :

$$L_{Eq} = 86.2 + 18.4 \log \left( \frac{S}{80} \right) - 11.3 \log \left( \frac{d}{25} \right)$$

$$L_{Eq} = 86.2 + 18.4 \log \left( \frac{90}{80} \right) - 11.3 \log \left( \frac{16.5}{25} \right)$$

$$L_{Eq} = 89.18 \text{ dBA}$$

Nilai pengukuran dan perhitungan dengan cara yang sama seperti di atas diperoleh untuk berbagai kereta api dan ditampilkan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil pengukuran dan prediksi tingkat kebisingan kereta api pengukuran dan prediksi pada jarak 15 m.

No	Kereta	V (km/jam)	Keterangan	Pengukuran	Prediksi	Eror
<b>15 m</b>						
1.	Argo Bromo	90	Near track	91.29	89.18	-2.10
2.	Peti Kemas	68	Near track	89.4	86.94	-2.45
3.	Sembrani	86	Far track	90.88	87.72	-3.15
4.	Peti Kemas	68	Far track	87.15	85.85	-1.29
5.	Harina	81	Near track	90.29	88.33	-1.95
6.	Argo Bromo	90	Near track	91.46	89.18	-2.27

<b>30 m</b>						
1.	Maharani	81	Near track	83.04	85.16	2.12
2.	Harina	81	Far track	85.28	84.56	-0.71
3.	Sembrani	86	Far track	90.88	87.72	-3.15
4.	Argo Bromo	90	Near track	85.89	86.00	0.11
5.	Peti Kemas	68	Far track	87.09	83.16	-3.92
6.	Kertajaya	86	Near track	83.22	85.64	2.42
<b>60 m</b>						
1.	Maharani	81	Far track	80.95	81.56	0.61
2.	Jayabaya	86	Near track	79.82	82.36	2.54
3.	Komuter	63	Near track	77.37	79.87	2.50
4.	Komuter	63	Far track	80.19	79.55	-0.63
5.	Harina	81	Near track	81.28	81.88	0.60
6.	Peti Kemas	68	Far track	80.4	80.16	-0.23
<b>90 m</b>						
1.	Gumarang	81	Far track	78.87	79.71	0.84
2.	Komuter	63	Far track	73.21	77.70	4.49
3.	Peti Kemas	68	Far track	77.54	78.31	0.77
4.	Jayabaya	86	Near track	73.33	80.41	7.08
5.	Kertajaya	81	Far track	79.53	79.71	0.18
6.	Komuter	63	Far track	77.19	77.70	0.51

Berdasarkan tabel diatas pengukuran tingkat kebisingan pada jarak yang dekat dengan sumber menghasilkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai prediksi sedangkan pengukuran tingkat kebisingan pada jarak yang jauh dengan sumber menghasilkan nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai prediksi. Hal tersebut disebabkan adanya pantulan dari bidang permukaan tanah ketika dilakukan pada jarak yang dekat dengan sumber.

#### **4.1.2 Pengukuran Kebisingan Lingkungan**

Penilaian tingkat kebisingan lingkungan dilakukan pada peukiman yang berada diluar batas ruang milik kereta api dan

masih berada pada ruang pengawasan kereta api. Tingkat kebisingan kereta ( $L_{Eq}$ ) dan lama durasi ( $t_i$ ) ditampilkan pada Lampiran A1 dan A2.

Pengukuran dilakukan pada dua titik yaitu di utara dan selatan rel kereta api. Perhitungan  $L_S$  dan  $L_M$  di utara rel kereta api sebagai berikut :

$$L_S = 10 \log \left\{ \frac{1}{16 \times 3600} \sum t_i \cdot 10^{0.1 \cdot L_i} \right\}$$

$$L_S = 10 \log \left\{ \frac{1}{16 \times 3600} (11 \cdot 10^{0.1 \times 90.5} + \dots + 11 \cdot 10^{0.1 \times 89.02}) \right\}$$

$$L_S = 71 \text{ dBA}$$

$$L_M = 10 \log \left\{ \frac{1}{8 \times 3600} \sum t_i \cdot 10^{0.1 \cdot L_i} \right\}$$

$$L_M = 10 \log \left\{ \frac{1}{8 \times 3600} (29 \cdot 10^{0.1 \times 87.52} + \dots + 18 \cdot 10^{0.1 \times 89.4}) \right\}$$

$$L_M = 69 \text{ dBA}$$

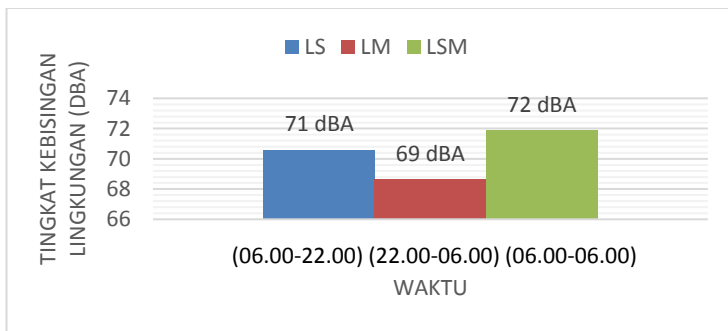
Tingkat kebisingan ( $L_{SM}$ ) di utara rel kereta api adalah sebagai berikut :

$$L_{SM} = 10 \log \left\{ \frac{1}{24 \times 3600} \left( 16 \cdot 10^{0.1 \cdot L_{siang}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{malam} + 5}{10}} \right) \right\}$$

$$L_{SM} = 10 \log \left\{ \frac{1}{24 \times 3600} \left( 16 \cdot 10^{0.1 \times 71} + 8 \cdot 10^{\frac{69 + 5}{10}} \right) \right\}$$

$$L_{SM} = 72 \text{ dBA}$$

Gambar 4.1 berikut ini menunjukkan tingkat kebisingan ( $L_{SM}$ ) di utara rel kereta api.



Gambar 4. 1 Hasil Pengukuran Tingkat Kebisingan Lingkungan di utara rel kereta api.



Total event selama 24 jam sebanyak 45 kali yaitu 33 kali pagi (pukul 06.00 - 22.00) dan 12 kali malam hari (pukul 22.00 – 06.00).

Untuk nilai  $L_S$  dan nilai  $L_M$  di selatan rel kereta api adalah sebagai berikut :

$$L_S = 10 \log \left\{ \frac{1}{16 \times 3600} \sum t_i \cdot 10^{0.1 \cdot L_i} \right\}$$

$$L_S = 10 \log \left\{ \frac{1}{16 \times 3600} (24 \cdot 10^{0.1 \times 90.39} + \dots + 22 \cdot 10^{0.1 \times 88.64}) \right\}$$

$$L_S = 70 \text{ dBA}$$

$$L_M = 10 \log \left\{ \frac{1}{8 \times 3600} \sum t_i \cdot 10^{0.1 \cdot L_i} \right\}$$

$$L_M = 10 \log \left\{ \frac{1}{8 \times 3600} (17 \cdot 10^{0.1 \times 88.75} + \dots + 22 \cdot 10^{0.1 \times 86.97}) \right\}$$

$$L_M = 66 \text{ dBA}$$

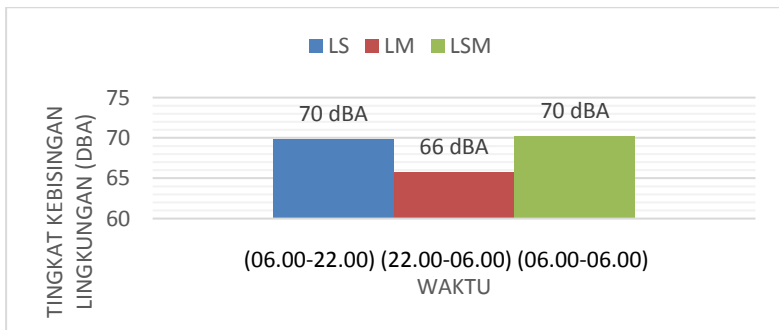
Tingkat kebisingan ( $L_{SM}$ ) di selatan rel kereta api adalah sebagai berikut:

$$L_{SM} = 10 \log \left\{ \frac{1}{12 \times 3600} \left( 16 \cdot 10^{0.1 \cdot L_{siang}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{malam} + 5}{10}} \right) \right\}$$

$$L_{SM} = 10 \log \left\{ \frac{1}{12 \times 3600} \left( 16 \cdot 10^{0.1 \times 70} + 8 \cdot 10^{\frac{66 + 5}{10}} \right) \right\}$$

$$L_{SM} = 70 \text{ dBA}$$

Gambar 4.2 menunjukkan tingkat kebisingan ( $L_{SM}$ ) di selatan rel kereta api.



Gambar 4. 2 Hasil Pengukuran Tingkat Kebisingan Lingkungan di selatan rel kereta api.

Total event selama 24 jam sebanyak 41 kali yaitu 33 kali pagi hari ( pukul 06.00 - 22.00) dan 8 kali malam hari ( pukul 22.00 - 06.00).

Hasil pengukuran tingkat kebisingan ( $L_{SM}$ ) di utara dan selatan rel kereta api mempunyai nilai yang berbeda. Hal tersebut dikarenakan pengambilan data kebisingan dilakukan pada hari yang berbeda. Nilai  $L_{SM}$  di utara rel kereta api mempunyai hasil yang lebih besar yaitu 72 dBA sedangkan nilai  $L_{SM}$  di selatan rel kereta api yaitu 70 dBA. Perbedaan tingkat kebisingan lingkungan tersebut dikarenakan perbedaan total event pada saat pengambilan data kebisingan. Total event saat pengambilan data di utara rel kereta api yaitu 45 kali sedangkan total event pada saat pengambilan data kebisingan di selatan rel kereta api yaitu 41 kali.

Tingkat kebisingan lingkungan pada pemukiman yang berada pada ruang pengawasan kereta api tersebut telah melampaui standar baku tingkat kebisingan sebesar 55 dBA. Sehingga diperlukan mitigasi untuk mereduksi tingkat kebisingan tersebut. Mitigasi tersebut menjadi tanggung jawab pihak PT. Kereta Api Indonesia dikarenakan lokasi pemukiman tersebut berada diluar ruang milik kereta api.

Perhitungan tingkat kebisingan lingkungan pada batas ruang pengawasan kereta api yaitu pada jarak 15 meter (sebelah luar ruang manfaat dari jalur kereta api) yaitu dengan cara menghitung nilai kebisingan tiap kereta dengan menggunakan persamaan 3.2. Untuk kereta api yang melintas pada jalur arah Jakarta/near track jaraknya ialah jarak=jarak+1.5 meter (contoh 15 meter, maka  $15+1.5=16.5$  meter). Sedangkan untuk kereta api yang melintas pada jalur arah Surabaya/far track jaraknya ialah jarak=jarak+5.6 meter (contoh 15 meter, maka  $15+5.6=20.6$  meter).

Kereta api Argo Bromo Angrek dengan kecepatan 90 km/jam. melintas pada jalur arah Jakarta (near track = 16.5 meter).

$$L_{Eq} = 86.2 + 18.4 \log \left( \frac{s}{80} \right) - 11.3 \log \left( \frac{d}{25} \right)$$

$$L_{Eq} = 86.2 + 18.4 \log \left( \frac{90}{80} \right) - 11.3 \log \left( \frac{16.5}{25} \right)$$

$$L_{Eq} = 89.18 \text{ dBA}$$

Sedangkan untuk kereta api yang sama yang melintas pada jalur arah Surabaya (far track=20.6 meter) :

$$L_{Eq} = 86.2 + 18.4 \log \left( \frac{S}{80} \right) - 11.3 \log \left( \frac{d}{25} \right)$$

$$L_{Eq} = 86.2 + 18.4 \log \left( \frac{90}{80} \right) - 11.3 \log \left( \frac{16.5}{25} \right)$$

$$L_{Eq} = 88.09 \text{ dBA}$$

Nilai Tingkat Kebisingan Siang Malam pada jarak 15 meter dari ruang manfaat jalur kereta api sebesar 66 dBA. Nilai tersebut melampaui standar baku tingkat kebisingan yang dibolehkan dalam SK Menteri Lingkungan Hidup yaitu sebesar 55 dBA.

Dengan menggunakan cara yang sama tingkat kebisingan lingkungan dihitung pada berbagai jarak lainnya, yaitu 30 meter, 60 meter, 90 meter, 120 meter, 150 meter, 180 meter, 210 meter, 240 meter, 270 meter, dan 300 meter menghasilkan nilai yang ditampilkan pada Tabel 4.2 sebagai berikut :

Tabel 4. 2 Hasil Prediksi Tingkat Kebisingan Lingkungan.

Jarak (Meter)	Ls (dBA)	LM (dBA)	LSM (dBA)
15	68	66	69
30	65	63	66
60	62	60	63
90	60	58	61
120	59	57	60
150	57	56	59
180	57	55	58
210	56	54	57
240	55	54	57
270	55	53	56
300	54	52	55

Agar tingkat kebisingan lingkungan berada pada nilai standar atau dalam toleransi maka jarak minimum pemukiman dengan rel kereta api yaitu sebesar 180 meter. Sedangkan untuk pemukiman yang berjarak kurang dari 180 meter dapat dilakukan pemasangan *noise barrier* untuk mereduksi tingkat kebisingannya.

#### 4.1.3 Penghalang Bising (*Noise Barrier*)

Hasil pengukuran tingkat kebisingan kereta api pada pemukiman yang berada pada jarak 11 meter dari rel ditinjau pada setiap frekuensi, nilai tersebut ingin direduksi menjadi 55 dBA dan ditampilkan pada tabel sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Tingkat kebisingan kereta api setiap frekuensi

Frekuensi	TTB (dBA)	Reduksi Bising (TTB-55)
125	57.08	2.08
250	65.53	10.53
500	73.99	18.99
1000	80.48	25.48
2000	79.45	24.45
4000	79.25	24.25
8000	77.24	22.24

Seperti terlihat dalam Tabel 4.6 bahwa reduksi bising paling tinggi yaitu pada frekuensi 1000 Hz sebesar 25.48 dBA.

##### 4.1.3.1 Bising Yang Tertransmisi

Jarak penempatan *barrier* dari sumber mempengaruhi besarnya transmisi bising oleh *barrier*. Tingkat kebisingan tepat di *barrier* pada simulasi ke 1, 2, dan 3 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3.6) dan nilainya adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Tingkat kebisingan pada barrier dari sumber

Frekuensi (Hz)	L <sub>I</sub> (dBA)	L <sub>A</sub> (dBA) Pada Simulasi ke-		
		1	2	3
125	57.08	74.38	60.40	63.10
250	65.53	82.83	68.85	71.55
500	73.99	91.29	77.31	80.01
1000	80.48	97.78	83.80	86.50
2000	79.45	96.75	82.77	85.47
4000	79.25	96.55	82.57	85.27
8000	77.24	94.54	80.56	83.26

Pada perancangan ini dipilih material cinder concrete setebal 8 cm. Perhitungan *Transmission loss* menggunakan persamaan

(3.7) dan *Noise reduction* menggunakan persamaan (3.8) untuk frekuensi 125 Hz adalah sebagai berikut :

$$TL = (20 \log W) + (20 \log f) - C$$

$$TL = (20 \log(15 \times 8) + (20 \log 125) - 47$$

$$TL = 36.5 \text{ dB}$$

$$NR = TL + 6$$

$$NR = 36.5 + 6$$

$$NR = 42.5 \text{ dB}$$

Hasil perhitungan *Transmission loss* dan *Noise reduction* pada setiap frekuensi adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 5 Nilai reduksi bising setelah melewati barrier

No	Frekuensi (Hz)	TL (dB)	NR (dB)
1	125	36.5	42.5
2	250	42.5	48.5
3	500	48.6	54.6
4	1000	54.6	60.6
5	2000	60.6	66.6
6	4000	66.6	72.6
7	8000	72.6	78.6

Nilai transmisi bising pada setiap frekuensi ditentukan dengan cara mengurangkan nilai Tingkat kebisingan pada jarak penempatan barrier pada Tabel 4.7 dengan nilai reduksi bising pada Tabel 4.8. Hasilnya adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 6 Nilai transmisi bising tiap frekuensi simulasi 1,2, dan 3

Frekuensi (Hz)	NR (dB)	L <sub>A</sub> (dBA) Pada Simulasi ke-		
		1	2	3
125	42.5	31.88	17.90	20.60
250	48.5	34.33	20.35	23.05
500	54.6	36.69	22.71	25.41
1000	60.6	37.18	23.20	25.90
2000	66.6	30.15	16.17	18.87
4000	72.6	23.95	9.97	12.67
8000	78.6	15.94	1.96	4.66

Kebisingan overall yang tertransmisi tidak dipengaruhi oleh dimensi barrier dan hanya dipengaruhi oleh ketebalan material barrier. Kebisingan overall yang tertransmisi ditunjukkan pada Tabel 10 berikut:

Tabel 4. 7 Nilai kebisingan overall yang tertransmisi

<b>L<sub>A</sub> (dBA) Pada Simulasi ke-</b>		
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
41.89	27.91	30.61

Kebisingan overall yang tertransmisi setelah melewati *barrier* telah dapat mencapai standar baku tingkat kebisingan yaitu  $\leq 55\text{dBA}$ .

#### 4.1.3.2 Bising Yang Terdifraksi

Kebisingan yang terdifraksi dipengaruhi oleh dimensi barrier. Untuk menentukan panjang barrier dilakukan perhitungan R (Contoh pada frekuensi 1000 Hz) menggunakan persamaan (3.9) berikut:

$$r = 11 \text{ meter}$$

$$L_r = 80.48 \text{ dBA}$$

$$L_R = 55 \text{ dBA}$$

$$L_r - L_R = 20 \log \left( \frac{R}{r} \right)$$

$$25.48 = 20 \log \left( \frac{R}{11} \right)$$

$$1.274 = \log \left( \frac{R}{11} \right)$$

$$1.274 = \log R - \log 11$$

$$\log R = 1.274 + 1.04$$

$$\log R = 2.314$$

$$R = 206.72$$

Perhitungan nilai R untuk frekuensi yang lainnya ditampilkan dalam Tabel 4.11 adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 8 Penentuan nilai R yang sesuai

No	Frekuensi (Hz)	Lr (dBA)	LR (dBA)	Lr-LR	R (meter)
1	125	57.08	55	2.08	13.97
2	250	65.53	55	10.53	36.97
3	500	73.99	55	18.99	97.92
4	1000	80.48	55	25.48	206.72
5	2000	79.45	55	24.45	183.60
6	4000	79.25	55	24.25	179.42
7	8000	77.24	55	22.24	142.36

Berdasarkan tabel diatas diketahui nilai R tertinggi yaitu pada frekuensi 1000 Hz sebesar 207.72 meter. Perhitungan nilai panjang total barrier adalah sebagai berikut :

$$x = \sqrt{AB^2 - BD^2}$$

$$x = \sqrt{(206.72)^2 - 11^2}$$

$$x = 206.32 \text{ meter}$$

$$\tan \theta = \frac{x}{\frac{P+S}{2}} = \frac{L}{S}$$

$$\tan \theta = \frac{206.72}{11} = \frac{L}{1.5}$$

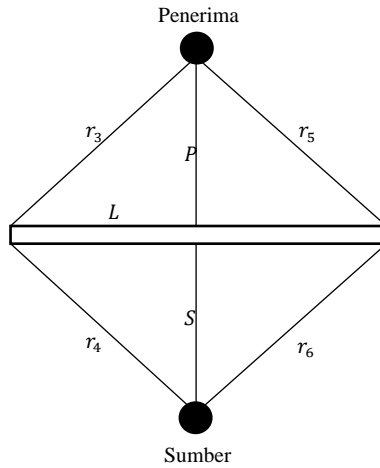
$$L = 28.15 \text{ meter}$$

Panjang total barrier (2L) minimum untuk masing-masing penempatan barrier adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 9 Panjang total barrier

Simulasi	P	S	X	L	2L	Ket.
1	9.5	1.5	206.43	28.14	56.29	Kurang dari panjang pemukiman
2	3.5	7.5	206.43	140.74	281.49	Sesuai dengan panjang pemukiman
3	5.5	5.5	206.43	103.21	206.43	Kurang dari panjang pemukiman

Untuk menentukan tinggi barrier, perhatikan ilustrasi berikut:



Gambar 4. 3 Posisi barrier nampak atas

Nilai  $\delta_2$  dihitung sebagai berikut:

$$\delta_2 = [(r_3 + r_4) - (P + S)]$$

$$\delta_2 = [(\sqrt{9.5^2 + 28.15^2} + \sqrt{1.5^2 + 28.15^2}) - (9.5 + 1.5)]$$

$$\delta_2 = [(56.31 + 57.09) - 11]$$

$$\delta_2 = 102.41 \text{ meter}$$

$$\delta_2 = \delta_3$$



Nilai  $\delta_1$  didapatkan dengan menggunakan persamaan (12). Hasilnya adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 10 Hubungan antara IL dan  $\delta_1$

Frekuensi (Hz)	IL (dB)	$\delta_1$ Simulasi ke-		
		1	2	3
125	2.08	0	0	0
250	10.53	0.59	0.56	0.57
500	18.99	2.94	2.64	2.66
1000	25.48	8.01	6.23	6.34
2000	24.45	2.60	2.38	2.40
4000	24.25	1.17	1.12	1.13
8000	22.24	0.35	0.35	0.35

Berdasarkan hasil diatas nilai  $\delta_1$  terbesar pada frekuensi 1000 Hz yaitu sebesar 8.01 meter. Setelah nilai  $\delta_1$  diketahui, nilai  $H_{ef}$  dapat dihitung sebagai berikut:

$$\delta_1 = \left[ \left( \sqrt{P^2 + H_{ef}^2} + \sqrt{S^2 + H_{ef}^2} \right) - (P + S) \right]$$

$$\delta_1 = \left[ \left( \sqrt{9.5^2 + H_{ef}^2} + \sqrt{1.5^2 + H_{ef}^2} \right) - (9.5 + 1.5) \right]$$

$$H_{ef} = 7 \text{ meter}$$

Setelah mendapatkan nilai dimensi panjang dan tinggi barrier, Langkah selanjutnya yaitu menghitung atenuasi yang dihasilkan berdasarkan penempatan barrier dengan menggunakan metode Maekawa dengan persamaan (14). Perhitungan untuk simulasi 1 diberikan nilai-nilai berikut ini:

$H_1$  = Tinggi sumber = 0 meter

(Sumber bising paling dominan berasal dari gesekan antara ban dengan rel)

$H_2$  = Tinggi barrier = 7 meter

$H_3$  = Tinggi penerima = 1.5 meter

S = Jarak barrier ke sumber = 1.5 meter

P = Jarak barrier ke penerima = 9.5 meter

Sehingga,

$$a = \sqrt{S^2 + (H_2 - H_1)^2}$$

$$a = \sqrt{1.5^2 + (6.2 - 0)^2}$$

$$a = 6.37 \text{ meter}$$

$$b = \sqrt{P^2 + (H_2 - H_3)^2}$$

$$b = \sqrt{1.5^2 + (6.2 - 1.5)^2}$$

$$b = 10.59 \text{ meter}$$

$$c = \sqrt{(S + P)^2 + (H_3 - H_1)^2}$$

$$c = \sqrt{(1.5 + 9.5)^2 + (H_3 - H_1)^2}$$

$$c = 11.10 \text{ meter}$$

$$\delta = a + b - c$$

$$\delta = 6.37 + 10.59 - 11.10$$

$$\delta = 5.87 \text{ meter}$$

Atenuasi untuk frekuensi 1000 Hz:

$$B = 10 \log \left( 3 + \frac{40\delta}{\lambda} \right)$$

$$B = 10 \log \left( 3 + \frac{40 \times 5.87}{0.34} \right)$$

$$B = 28.41 \text{ dB}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, hasil perhitungan dengan menggunakan metode Maekawa diperoleh reduksi bising masing-masing simulasi sebagai berikut :

Tabel 4. 11 Reduksi bising oleh barrier dengan metode maekawa

Frekuensi (Hz)	B (dB) Simulasi ke-			NA (dBA) Simulasi ke-		
	1	2	3	1	2	3
125	20.27	19.36	19.29	29.50	30.41	30.48
250	23.21	22.30	22.22	42.31	43.22	43.30
500	26.19	25.27	25.20	47.79	48.71	48.78
1000	29.19	28.26	28.19	51.28	52.21	52.28
2000	32.19	31.26	31.19	47.25	48.18	48.25
4000	35.20	34.27	34.19	44.04	44.97	45.05
8000	38.21	37.27	37.20	39.02	39.96	40.03

Besarnya kebisingan overall yang terdifraksi adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 12 Kebisingan overall yang terdifraksi

<b>L<sub>A</sub> (dBA) Pada Simulasi ke-</b>		
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
54.75	55.68	55.75

Kebisingan overall yang terdifraksi setelah melewati *barrier* telah dapat mencapai standar baku tingkat kebisingan yaitu  $\leq 55$ dBA.

#### 4.1.3.2 Kebisingan Total Yang diterima

Kebisingan total yang diterima oleh pendengar adalah penjumlahan dari bising yang terdifraksi dan bising yang tertransmisi ditunjukkan pada Tabel 16 berikut ini:

Tabel 4. 13 Kebisingan total yang diterima

<b>Simulasi ke-</b>	<b>Bising Yang Terdifraksi (dBA)</b>	<b>Bising Yang Tertransmisi (dBA)</b>	<b>Total (dBA)</b>
1	54.75	41.89	54.96
2	55.68	27.91	55.68
3	55.75	30.61	55.76

Total bising yang diterima oleh pendengar yang berada sejauh 11 meter dari sumber bising dapat direduksi dengan memasang *barrier* dengan panjang 281.49 meter, tinggi 7 meter berbahan cinder concrete. Namun umumnya tinggi *barrier* adalah 1 hingga 4 meter. *Barrier* setinggi 7 meter terlalu tinggi dan memerlukan biaya pembangunan yang juga tinggi. Maka diberikan rekomendasi yaitu dengan cara menurunkan tingginya menjadi 4 meter dan dipasang sesuai dengan simulasi ke-1 (jarak 1 meter dari sumber) sebagai berikut:

Tabel 4. 14 Atenuasi bising jika tinggi barrier diturunkan menjadi 4 meter pada Simulasi ke-1

Frekuensi (Hz)	B (dB)	NA (dBA)
125	16.72	33.05
250	19.59	45.93
500	22.53	51.45
1000	25.50	54.97
2000	28.49	50.95
4000	31.49	47.75
8000	34.50	42.73

Tabel 4. 15 Kebisingan total yang diterima jika tinggi barrier diturunkan menjadi 4 meter pada Simulasi ke-1

Bising Yang Terdifraksi (dBA)	Bising Yang Tertransmisi (dBA)	Total (dBA)
58.24	41.89	58.33

Sesuai dengan Tabel 4.18 jika tinggi barrier diturunkan menjadi 4 meter dengan penempatan barrier sesuai simulasi ke-1 maka total bising yang diterima akan turun sebesar 58.33 dBA. Nilai tersebut masih termasuk dalam nilai toleransi baku tingkat kebisingan.

## 4.2 Pembahasan

Pengukuran tingkat kebisingan lingkungan pada pemukiman yang berada dalam ruang pengawasan kereta api melampaui standar baku tingkat kebisingan. Nilai  $L_{SM}$  di utara rel kereta api sebesar 72 dBA, dan di selatan rel kereta api sebesar 70 dBA. Sehingga perlu dilakukan mitigasi untuk mereduksi tingkat kebisingan tersebut. Dikarenakan pemukiman tersebut berada diluar ruang milik kereta api maka tindakan mitigasi menjadi tanggung jawab bagi pihak PT. Kereta Api Indonesia. Langkah mitigasi yang dapat dilakukan untuk mereduksi tingkat kebisingan yaitu dengan pemasangan *noise barrier*. Perancangan noise barrier menggunakan metode Maekawa, panjang barrier yang sesuai yaitu sepanjang 281.49 meter dan setinggi 7 meter dengan menggunakan materian cinder concrete. Pemasangan noise barrier pada batas

ruang manfaat kereta api (simulasi ke-1) akan mereduksi kebisingan kereta api hingga 54.96 dBA, pemasangan noise barrier pada batas ruang milik kereta api (simulasi ke-2) akan mereduksi kebisingan kereta api hingga 55.68 dBA, dan pemasangan noise barrier pada jarak 5.5 meter dari sumber atau berada ditengah-tengah antara sumber dengan penerima (simulasi ke-3) akan mereduksi kebisingan kereta api hingga 55.76 dBA.

Tinggi barrier yang efektif berdasarkan perancangan yaitu setinggi 7 meter, namun umumnya tinggi barrier yaitu antara 1-4 meter, maka apabila ketinggian barrier ini diturunkan antara 1-4 meter maka reduksi tingkat kebisingannya akan menurun. Rekomendasi yang diberikan yaitu pemasangan noise barrier dengan tinggi minimum 4 meter pada batas ruang manfaat kereta api (simulasi ke-1) dapat mereduksi tingkat kebisingan menjadi 58 dBA. Nilai tersebut masih memenuhi nilai toleransi. Sedangkan untuk tinggi barrier 1-4 meter dengan penempatan barrier pada posisi simulasi lainnya masih belum mampu untuk mencapai nilai batas toleransi yang diizinkan.

Nilai  $L_{SM}$  yang ditimbulkan oleh kereta api bergantung pada total event dalam 24 jam. Semakin banyak event, durasi paparan kebisingan akan semakin panjang, maka nilai  $L_{SM}$  semakin tinggi. Setelah proyek *double track* total event dalam 24 jam yaitu antara 40-56 event menghasilkan tingkat kebisingan lingkungan 72 dBA, sedangkan sebelum proyek *double track* total event dalam 24 jam yaitu antara 20-26 event menghasilkan tingkat kebisingan lingkungan 67 dBA. Hal ini berarti terjadi peningkatan kebisingan akibat penambahan event sekitar 5 dBA.

Nilai  $L_{Eq}$  yang ditimbulkan oleh setiap kereta api yang melintas dan durasi (ti) berbeda-beda. Hal ini bergantung pada jenis kereta api, kecepatan kereta api, jarak kereta api dengan pendengar, dan panjang kereta api. Nilai  $L_{Eq}$  kereta api paling tinggi terukur sebesar 91.84 dBA oleh kereta api penumpang Maharani, sedangkan kereta api yang memiliki durasi paling lama yaitu kereta api Peti Kemas yaitu 30 detik. Nilai  $L_{Eq}$  yang ditimbulkan oleh dua kereta api yang melintas secara bersamaan (*crossing*) adalah 91.92 dBA yaitu antara kereta api penumpang Harina dan Peti Kemas.

Pada saat melintas secara tunggal kereta api Harina menghasilkan bising sebesar 88.61 dBA dan kereta api Peti Kemas menghasilkan bising sebesar 89.4 dBA. Penjumlahan kedua nilai bising tersebut yaitu 92.03 dBA. Nilai yang terukur mendekati nilai sebenarnya. Namun pada kenyataannya nilai tersebut dapat berubah-ubah tergantung pada kondisi pada saat pengukuran contoh faktor yang paling berpengaruh adalah apakah pada saat pengukuran kereta api tersebut menyalakan bel atau tidak karena nilai kebisingan yang ditimbulkan oleh bel sangat tinggi.

Nilai kebisingan lingkungan yang sangat tinggi akibat kereta api memberikan dampak yang tidak nyaman bagi pemukiman yang berada dipinggir rel kereta api. Peraturan Pemerintah tentang Perkeretaapian mengatur bahwa jarak antara ruang manfaat jalur kereta api dengan pemukiman penduduk minimum adalah 15 meter. Namun berdasarkan pengukuran nilai tingkat kebisingan lingkungan yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, pendirian bangunan pada jarak tersebut masih menghasilkan nilai kebisingan lingkungan yang tinggi yaitu 69 dBA. Untuk mengurangi tingkat kebisingan tersebut dapat dilakukan dengan cara pemasangan *noise barrier* atau penambahan jarak pendirian bangunan dengan rel kereta api. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan jarak minimum agar nilai tingkat kebisingan lingkungan dapat memenuhi standar atau berada dalam batas toleransi baku mutu tingkat kebisingan yaitu pada jarak 180 meter. Pada jarak tersebut nilai  $L_{SM}$  sebesar 58 dBA.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Setelah melaksanakan seluruh rangkaian penelitian tugas akhir dan menganalisa hasil yang didapat, maka berdasarkan hal tersebut, diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Tingkat Kebisingan Siang Malam ( $L_{SM}$ ) pada pemukiman yang berjarak 15 m dari jalur rel adalah sebesar 69 dBA. Sedangkan pada pemukiman yang berada pada jarak 11 meter dari rel adalah sebesar 70-72 dBA. Nilai ini melampaui baku tingkat kebisingan yang ditetapkan dalam SK Menteri Lingkungan Hidup No. Kep-48/MENLH/11/1996, tentang Baku Tingkat Kebisingan, yaitu 55 dBA dengan toleransi 3 dBA.
2. Melalui simulasi,  $L_{SM}$  di pemukiman akan turun menjadi 58 dBA pada jarak 180 meter tanpa diberi penghalang (barrier). Pemasangan penghalang (barrier) pada jarak 1.5 m dari rel, setinggi 4 meter dengan material "*cinder concrete*" dapat mereduksi Tingkat Kebisingan menjadi 58 dBA.

#### **5.2 Saran**

Untuk memperbaiki kesalahan maupun keberlanjutan penelitian tentang topik sejenis dimasa mendatang, yaitu untuk desain penghalang bising pada tugas akhir ini disarankan menggunakan metode simulasi software.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR PUSTAKA

- Surat Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Baku Tingkat Kebisingan.* (1996). Jakarta.
- Railway applications – Acoustics – Measurement of noise emitted by railbound vehicles. ISO 3095 Second Edition.* (2005).
- Xiaoan, G. (2006). Railway Environmental Noise Control in China. *Journal of Sound and Vibration*, 293.
- Ögren, M. (2006). *Noise Emission from Railway Traffic*. Swedia: VTI rapport 559A.
- P. Nassiri, M. A. (2007). A rail noise prediction model for the Tehran-Karaj commuter train. *ScienceDirect*, 326-333.
- Undang-undang Republik Indonesia No. 23.* (2007). Jakarta.
- Thompson, D. (2009). *Railway Noise and Vibration Mecanism, Modeling, and Means of Control*. Great Britain: Elsevier.
- Siswanto, H. (2010). *Perancangan Barrier Pada Mesin Turbin Gas Dengan Metode Maekawa di PT. PJB Unit Pembangkit Gresik*. Surabaya.
- Mayangsari, A. R. (2010). *Perancangan Barrier Untuk Menurunkan Tingkat Kebisingan Pada Jalur Rel Kereta Api Di Jalan Ambengan Surabaya Dengan Menggunakan Metode Nomograph*. Surabaya.
- Khan, S. (2011). Sound Quality Of Railway Noise With And Without Barrier. *Pass-by and Internal Acoustic Noise*, 63-68.

Setyowati, A. D. (2014). *Analisis Tingkat Kebisingan Di Sekolah Yang Terletak di Kawasan Tingkat III Bandara Adisucipto Yogyakarta*. Surabaya.

Zannin, P. H. (2014). Noise Annoyance Through Railway Traffic - A Case Study. *Journal of Environmental Healt Science & Engineering*, 12:14.

## LAMPIRAN A

### A.1 Data Hasil Pengukuran Tingkat Kebisingan Tiap Kereta Di Utara Rel Kereta Api

No	Waktu	Kereta	Durasi	$L_{Eq}$	Keterangan
1.	0.03	Peti Kemas	29	87.25	Far track
2.	0.43	KLB Barang	27	88.99	Near track
3.	0.46	Peti Kemas	31	89.79	Far track
4.	0.46	KLB Barang			Near track
5.	1.19	Kertajaya	19	90.35	Near track
6.	3.09	Gumarang	16	90.46	Near track
7.	4.21	Komuter Sulam	12	86.58	Far track
8.	5.25	KLB Barang	19	87.09	Far track
9.	5.24	Sembrani	14	90.88	Near track
10.	5.41	Peti Kemas	18	89.4	Far track
11.	6.11	Maharani	11	90.5	Far track
12.	6.19	Argo Bromo	16	91.29	Near track
13.	6.31	Komuter Sulam	15	88.33	Near track
14.	7.15	KLB Kirim	32	88.99	Near track
15.	7.38	Parcel	22	88.99	Near track
16.	8.11	Argo Bromo	17	89.4	Far track
17.	8.52	KLB Semen	19	87.33	Far track
18.	9.26	KLB Kirim	29	87.42	Far track
19.	9.46	Harina	14	90.29	Near track
20.	10.43	Ekonomi	17	88.64	Far track
21.	11.43	Peti Kemas	24	88.93	Near track
22.	11.44	KLB Ekonomi	16	90.5	Near track
23.	12.01	KLB Semen	19	87.1	Far track

24.	12.38	Peti Kemas	20	88.75	Near track
25.	13.11	KLB Ekonomi	17	88.22	Far track
26.	14.02	Peti Kemas	28	89.2	Near track
27.	14.26	Jayabaya	20	89.79	Far track
28.	14.42	Peti Kemas	30	88.46	Near track
29.	15.15	KLB Kirim	30	90.32	Near track
30.	15.29	Ekonomi	10	90.35	Near track
31.	15.41	Gumarang	14	88.73	Far track
32.	16.15	Maharani	20	91.84	Near track
33.	16.45	Harina	31	91.92	Far track
34.	16.45	Peti Kemas			Near track
35.	17.19	Komuter Sulam	32	91.46	Far track
36.	17.19	Semen			Near track
37.	18.01	Sembrani	21	89.02	Far track
38.	18.19	Argo Bromo	16	91.46	Near track
39.	19.21	Peti Kemas	19	87.93	Far track
40.	19.33	Komuter Sulam	11	88.17	Near track
41.	20.11	Argo Bromo	17	89.55	Far track
42.	20.41	Parcel	29	87.78	Far track
43.	21.12	Kertajaya	11	89.02	Far track
44.	22.21	Peti Kemas	29	87.52	Far track
45.	22.47	Jayabaya	12	90.5	Near track

## A.2 Data Hasil Pengukuran Tingkat Kebisingan Tiap Kereta Di Selatan Rel Kereta Api

No	Waktu	Kereta	Durasi	$L_{Eq}$	Keterangan
1.	0.08	Peti Kemas	29	86.97	Near track
2.	0.48	Peti Kemas	26	88.57	Near track
3.	1.15	Kertajaya	19	88.3	Far track
4.	3.05	Gumarang	16	88.8	Far track
5.	4.32	Komuter-sulam	12	87.84	Near track
6.	5.23	Sembrani	16	90.37	Far track
7.	5.46	Peti Kemas	27	86.97	Near track
8.	6.01	Peti Kemas	24	90.39	Far track
9.	6.15	Argo Bromo Anggrek	16	90.68	Far track
10.	6.15	Maharani			Near track
11.	6.22	Komuter-sulam	16	87.91	Far track
12.	7.34	Parcel	24	90.4	Near track
13.	8.13	Argo Bromo Anggrek	16	90.74	Near track
14.	8.23	KLB Barang Petikemas	22	88.19	Near track
15.	9.42	Harina	14	89.06	Far track
16.	10.51	Ekonomi Lokal	16	88.56	Near track
17.	11.38	Peti Kemas	29	88.44	Far track
18.	11.4	KLB Penumpang Ekonomi Tambahan	17	87.62	Far track
19.	12.06	Semen	20	89.62	Near track
20.	13	KLB Semen	19	86.5	Far track
21.	13.15	KLB Penumpang Ekonomi Tambahan	16	88.8	Near track
22.	13.46	Peti Kemas	29	89.37	Far track
23.	13.57	Peti Kemas	28	90.87	Near track

24.	14.31	Jayabaya	20	87.8	Near track
25.	14.37	Peti Kemas	24	87.43	Far track
26.	15.21	Ekonomi Lokal	17	89.46	Far track
27.	15.45	Gumarang	14	88.46	Near track
28.	16.11	Maharani	16	88.75	Far track
29.	16.31	Harina	16	89.62	Near track
30.	16.41	Peti Kemas	28	88.75	Far track
31.	17.14	Semen	20	87.32	Near track
32.	17.27	Komuter-sulam	16	87.8	Near track
33.	18.05	Sembrani	18	88.86	Near track
34.	18.16	Argo Bromo Anggrek	18	89.63	Far track
35.	19.24	Komuter-sulam	28	90.78	Far track
36.	19.24	Peti Kemas			Near track
37.	20.13	Argo Bromo Anggrek	18	89.46	Near track
38.	20.44	Parcel	24	88.54	Near track
39.	21.14	Kertajaya	12	88.96	Near track
40.	21.26	Peti Kemas	22	88.64	Near track
41.	22.43	Jayabaya	17	88.75	Far track

## LAMPIRAN B

### B1. Hasil Pengukuran Tingkat Kebisingan Lingkungan Di Utara Rel Kereta Api

SIANG			
Waktu	Durasi	Leq	Durasi*10 <sup>^(0.1*Leq)</sup>
6.11	11	90.5	12342202997
6.19	16	91.29	21533765665
6.31	15	88.33	10211540380
7.15	32	88.99	25360042575
7.38	22	88.99	17435029271
8.11	17	89.4	14806381029
8.52	19	87.33	10274332136
9.26	29	87.42	16010245739
9.46	14	90.29	14966768309
10.43	17	88.64	12429364419
11.43	24	88.93	18759067310
11.44	16	90.5	17952295269
12.01	19	87.1	9744366296
12.38	20	88.75	14997884187
13.11	17	88.22	11283632197
14.02	28	89.2	23289385591
14.26	20	89.79	19055923280
14.42	30	88.46	21043658953
15.15	30	90.32	32293956409
15.29	10	90.35	10839269140
15.41	14	88.73	10450282618
16.15	20	91.84	30551321165
16.45	31	91.92	48234934580
17.19	32	91.46	48234934580
18.01	21	89.02	44786794322
18.19	16	91.46	44786794322
19.21	19	87.93	16757888433
19.33	11	88.17	22393397161
20.11	17	89.55	11796511650
20.41	29	87.78	7217597929
21.12	11	89.02	15326709339

<b>Total</b>	<b>6.61338E+11</b>
$L_s = 10 * \log \left( \frac{1}{16 * 3600} * Total \right)$	<b>70.60001 dBA</b>

<b>MALAM</b>			
<b>Waktu</b>	<b>Durasi</b>	<b>Leq</b>	<b>Durasi*10^(0.1*(Leq+5))</b>
0.03	29	87.25	15395648883
0.43	27	88.99	21397535923
0.46	31	89.79	29536681085
1.19	19	89.79	29536681085
3.09	16	90.35	20594611366
4.21	12	90.46	17787707637
5.25	19	86.58	5459856722
5.24	14	87.09	9721954875
5.41	18	90.88	17144626790
22.21	29	87.52	16383172270
22.47	12	90.5	13464221452
<b>Total</b>			<b>186310896.3</b>
$L_m = 10 * \log \left( \frac{1}{8 * 3600} * Total \right)$			<b>68.67148268 dBA</b>

<b>SIANG - MALAM</b>	
<b>Total</b>	<b>1.33206E+12</b>
$L_{sm} = 10 * \log \left( \frac{1}{24} (16 * 10^{0.1 * L_s} + 8 * 10^{0.1(L_m+5)}) \right)$	<b>71.88009 dBA</b>



## B2. Hasil Pengukuran Tingkat Kebisingan Lingkungan Disisi Selatan Rel Kereta Api

SIANG			
Waktu	Durasi	Leq	$\text{Durasi} \times 10^{(0.1 \times \text{Leq})}$
6.01	24	87.91	26254952791
6.15	16	90.4	18711990256
6.22	16	88.19	18711990256
7.34	24	89.06	9888262402
8.13	16	88.56	26315476707
8.23	22	88.44	18972299971
9.42	14	87.62	14501825695
10.51	16	89.62	11275298177
11.38	29	86.5	11484708660
11.4	17	88.8	20248739718
12.06	20	89.37	9827632806
13	19	90.87	18324409802
13.15	16	87.8	8486988251
13.46	29	87.43	12137241200
13.57	28	89.46	25084069644
14.31	20	88.46	34210390485
14.37	24	88.75	12051191721
15.21	17	89.62	13280402621
15.45	14	88.75	15012358307
16.11	16	87.32	9820374178
16.31	16	87.8	11998307349
16.41	28	88.86	14659527842
17.14	20	89.63	20997037861
17.27	16	90.78	10790212450
18.05	18	89.46	9640953377
18.16	18	88.54	13844347925
19.24	28	88.96	16529986737
20.13	18	88.64	33508734877
20.44	24	88.75	33508734877
21.14	12	88.96	15895438208
21.26	22	88.64	17147911826

<b>Total</b>	<b>5.58651E+11</b>
<b><math>Lm = 10 * \log \left( \frac{1}{8 * 3600} * Total \right)</math></b>	<b>69.86718 dBA</b>

<b>MALAM</b>			
<b>Waktu</b>	<b>Durasi</b>	<b>Leq</b>	<b>Durasi*10^(0.1*(Leq+5))</b>
0.08	29	86.97	14434375464
0.48	26	88.57	18705673428
1.15	19	88.3	12845576532
3.05	16	88.8	12137241200
4.32	12	87.84	7297620015
5.23	16	90.37	17422881493
5.46	27	86.97	13438901294
22.43	17	88.75	12748201559
<b>Total</b>			<b>95773506.3</b>
<b><math>Lm = 10 * \log \left( \frac{1}{8 * 3600} * Total \right)</math></b>			<b>65.781554 dBA</b>

<b>SIANG - MALAM</b>	
<b>Total</b>	<b>9.03436E+11</b>
<b><math>Lsm = 10 * \log \left( \frac{1}{24} (16 * 10^{0.1*Ls} + 8 * 10^{0.1(Lm+5)}) \right)</math></b>	<b>70.19384 dBA</b>

## LAMPIRAN C

### Data Hasil Pengukuran Tingkat Kebisingan Kereta Terhadap Jarak

<b>15 meter</b>				
No.	Kereta	V (km/jam)	Keterangan	Terukur
1.	Argo Bromo Anggrek	90	Near track	91.29
2.	Peti Kemas	68	Near track	89.4
3.	Sembrani	86	Far track	90.88
4.	Peti Kemas	68	Far track	87.15
5.	Harina	81	Near track	90.29
6.	Argo Bromo Anggrek	90	Near track	91.46
<b>30 meter</b>				
1.	Maharani	81	Near track	83.04
2.	Harina	81	Far track	85.28
3.	Peti Kemas	68	Near track	86.76
4.	Argo Bromo Anggrek	90	Near track	85.89
5.	Peti Kemas	68	Far track	87.09
6.	Kertajaya	86	Near track	83.22
<b>60 meter</b>				
1.	Maharani	81		80.95
2.	Jayabaya	86	Near track	79.82
3.	Komuter Sulam	63	Near track	77.37
4.	Komuter Sulam	63		80.19
5.	Harina	81	Near track	81.28
6.	Peti Kemas	68		80.4
<b>90 meter</b>				
1.	Gumarang	81	Far track	78.87
2.	Komuter Sulam	63	Far track	73.21
3.	Peti Kemas	68	Far track	77.54
4.	Jayabaya	86	Near track	73.33
5.	Kertajaya	81	Far track	79.53
6.	Komuter Sulam	63	Far track	77.19

## LAMPIRAN D

### Data Pengukuran Tingkat Kebisingan Kereta Api Sebelum diolah (KA Harina)

No.	Sec.	ALL	125	250	500	1k	2k	4k	8k
1	5145	63.87	37.01	35.99	51.13	55.03	52.2	49.94	51.48
2	5146	81.8	33.85	44.85	53.87	56.1	56.62	60.36	55.73
3	5147	81.8	33.85	44.85	53.87	56.1	56.62	60.36	55.73
4	5148	81.32	50.96	47.69	59.12	66.13	63.47	66.28	61.45
5	5149	81.65	46.61	58.12	67.44	69.41	70.06	73.55	69.37
6	5150	82.82	43.19	61.79	68.01	69.73	71.77	71.26	71.02
7	5151	84.32	45.92	64.77	63.9	72.68	74.6	71.45	72.93
8	5152	86.16	38.88	62.91	72.44	76.38	76.72	74.36	71.6
9	5153	86.13	38.32	61.59	77.54	75.87	76.98	71.42	69.24
10	5154	76.29	35.6	51.6	57.78	70.11	65.65	60.24	58.1
11	5155	76.36	40.22	56.43	61.66	69.66	67.28	61.99	58.3
12	5156	69.77	29.81	44.94	49.54	60.82	61.13	54.47	52.04
13	5157	69.95	31.95	40.74	56.68	63.74	59.99	55.99	52.34
14	5158	67.8	31.11	47.61	46.81	57.47	58.79	53.43	52.87
15	5159	66.28	34.31	40.1	53.77	57.85	56.12	51.48	51.8
16	5160	67.02	31.78	42.81	51.1	53.61	54.14	53.15	52.3
17	5161	65.56	30.56	38.44	45.32	53.82	55.6	50.73	52.34
18	5162	65.64	33.75	38.54	48.3	54.19	55.26	48.37	52.71

## BIODATA PENULIS



**Fresi Yuliana Putri Tias Aji**, dilahirkan di Bojonegoro, 10 Juli 1993. Penulis menempuh pendidikan secara formal di MI Muhammadiyah 1 Kedungadem, SMP Negeri 1 Kedungadem, SMA Negeri 1 Bojonegoro, dan lulus pendidikan diploma dari Politeknik Kesehatan Kemenkes Surabaya, dengan mengambil program studi D3 Teknik Elektromedik pada tahun 2014. Saat ini, penulis telah menyelesaikan studi lintas jalur program sarjana (S1) pada program studi Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Apabila terdapat saran, kritik, atau pertanyaan tentang Tugas Akhir ini, pembaca dapat menghubungi penulis melalui kontak Line @fresiyulia atau *e-mail*: fresiyuliaputri@gmail.com.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*